**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Özlem ÇELİKEL**

# ELEKTRON SİKLOTRON MİKRODALGA PLAZMA (ECR-MP) YÖNTEMİ İLE FARKLI YÜZEYLERİN KARBON VE AZOT KATKILI KARBON FİLMLER İLE KAPLANMASI

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ADANA 2020**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# ELEKTRON SİKLOTRON MİKRODALGA PLAZMA (ECR-MP) YÖNTEMİ İLE FARKLI YÜZEYLERİN KARBON VE AZOT KATKILI KARBON FİLMLER İLE KAPLANMASI

**Özlem ÇELİKEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİK ANABİLİMDALI**

Bu Tez 06/07/2020 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.

| | | |
|---|---|---|
| …….. | …… | …… |
| Prof. Dr. Hamide KAVAK | Doç. Dr. Salih YILMAZ | Doç. Dr. Mehmet ESEN |
| DANIŞMAN | ÜYE | ÜYE |

Bu Tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
**Kod No**

**Prof. Dr. Mustafa GÖK**
**Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.**
**Proje No**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# ÖZ

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRON SİKLOTRON MİKRODALGA PLAZMA (ECR-MP) YÖNTEMİ İLE FARKLI YÜZEYLERİN KARBON VE AZOT KATKILI KARBON FİLMLER İLE KAPLANMASI**

**Özlem ÇELİKEL**
**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
**FİZİK ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Hamide KAVAK
Yıl: 2020, Sayfa: 109
Jüri : Prof. Dr. Hamide KAVAK
: Doç. Dr. Mehmet ESEN
: Doç. Dr. Salih YILMAZ

Bu çalışmada Elektron Siklotron Rezonans Mikrodalga Plazma (ECR-MP) yöntemi kullanılarak azot katkılı ve katkısız karbon ince filmler metal (çelik, diş teli, diş implantı, alüminyum), silisyum ve cam alt tabanlar üzerine kaplandı. Plazma oluşumu için metan ($CH_4$) gazı kullanıldı. Farklı alt tabanlar üzerine büyütülen kaplamaların optik, yapısal- yüzey özellikleri belirlendi. Aynı zamanda metal alt tabanlar üzerine büyütülen örneklerin sürtünme ve aşınma testleri yapıldı.

**Anahtar kelimeler:** ECR-MP, $CH_4$, plazma, metal kaplama, diş implantı, diş teli

## ABSTRACT

## MSc THESIS

**COATING ON DIFFERENT SURFACES WITH CARBON AND NITROGEN DOPED CARBON FILMS BY USING ELECTRON CYCLOTRON MICROWAVE PLASMA (ECR-MP) METHOD**

**Özlem ÇELİKEL**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**
**FİZİK ANABİLİM DALI**

Supervisor : Prof. Dr. Hamide KAVAK
Year:2020, Pages: 109
Jüri : Prof. Dr. Hamide KAVAK
: Assoc. Prof. Dr. Mehmet ESEN
: Assoc. Prof. Dr. Salih YILMAZ

In this study, nitrogen doped and as deposited carbon thin films were grown by Electron Cyclotron Resonant Microwave Plasma (ECR-MP) method on metal (steel, braces, dental implants, aluminum), silicon and glass substrates. Methane ($CH_4$) gas was used for plasma formation. Optical, structural and surface properties of coatings grown on different substrates were determined. At the same time, friction and wear tests of the samples grown on metal substrates were performed.



**Key words:** ECR-MP, $CH_4$, carbon, plasma, metal coating, dental implant, teeth braces

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Karbon, son 50 yıl içinde DLC, elmas, bor karbür, karbon nitrür ve çeşitli geçiş metal karbürlerinin temel elementi olmuştur. DLC kaplamaları diğer kaplamalar arasında belki de üzerinde en fazla araştırma yapılandır. DLC kaplamalarda üstün mekanik ve tribolojik özelliklerinden dolayı medikal uygulamalar, sanayi ve mühendislik uygulamalarında optik geçirgenlik, kimyasal inertlik, yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı, aşınmaya dayanımı, biyouyumluluk gibi üstün özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmada ECR-MP (Elektron Siklotron Rezonans Mikrodalga Plazma) yöntemiyle yüzey kaplaması yapıldı. Akı, basınç ve gaz akış oranı değiştirilerek cam, silisyum ve metal altlıklar üzerine karbon ile azot katkılı karbon ince filmler üretildi. Plazma oluşumu için metan ($CH_4$) ve azot ($N_2$) gazı kullanıldı. Filmlerin yüzey morfolojisi AFM ve SEM ile yapısal özellikleri XRD ile optik özellikleri spektrometreyle belirlenirken titreşim özellikleri Raman ile belirlendi. Bu çalışmada, karbon bağ oluşumu üzerinde önemli etkileri olan $N_2$ katkısının DLC kaplamaları üzerindeki etkilerini ortaya koymak ve kaplanmış alt tabanların üzerinde ölçümler yaparak bu kaplamanın tribolojik davranışının yanı sıra oluşan nanoyapıları anlamak hedeflenmektedir. DLC otomotiv sanayinde aşınma direnci ve düşük sürtünme katsayısına sahip olmasından dolayı parçalar üzerinde yağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Biyouyumluluk nedeniyle biyoloji ve tıp alanında implant malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amaçlarından biride implatların ve alt taban olarak kullanılan farklı metallerin kaplanmasından sonra sertlik, aşınma ve sürtünme gibi tribolojik özellikleri ve harici bir elektrik alanının yapısal ve optik özellikler üzerindeki etkisini incelemektir. Elde edilen kaplamanın dayanımı yüksek, sürtünme oranı düşük olmasının yanında vücut ile etkileşime girmemesi de önemli bir özelliktir.

**TEŞEKKÜR**

Bu tezin tüm aşamasında beni yönlendiren, gerekli tüm olanakları sağlayan her türlü desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Hamide KAVAK ve Prof. Dr. Ramazan ESEN' e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın her aşamasında yardımını esirgemeyen ve bilgisiyle yönlendiren hocam Doç. Dr. Mehmet ESEN' e teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürimde yer alarak değerli görüş ve fikirlerini sunan Doç. Dr. Salih YILMAZ' a çok teşekkür ederim.

Manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Merhan KILIÇ, Başak Tuğçe SIRIŞ ve Öğr. Gör. Birsen KESİK ZEYREK' e teşekkür ederim. Diş teli temininde yardımcı olan Dt. Tuna KISA 'ya teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında maddi manevi yanımda olan, desteklerini esirgemeyen annem Salihe ÇELİKEL, babam Besim ÇELİKEL, ablam Fatma GÖĞEBAKAN ve kardeşim Recep ÇELİKEL'e teşekkür ederim, iyi ki varsınız.

**İÇİNDEKİLER** **SAYFA**

ÖZ ..... I
ABSTRACT ..... II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET ..... III
TEŞEKKÜR ..... V
İÇİNDEKİLER ..... VI
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... X
38TŞEKİLLER DİZİNİ ..... XII
SİMGELER VE KISALTMALAR ..... XVIII
1.GİRİŞ ..... 1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR ..... 5
3. MATERYAL VE METOD ..... 11
3.1. Karbon Bazlı Malzemeler ..... 11
3.1.1.Elmas ..... 14
3.1.2.Grafit ..... 14
3.1.3.Fulleren ..... 15
3.1.4 Amorf Karbon ..... 16
3.2. Elmas Benzeri Karbon (DLC): Özellikleri ve Uygulamaları ..... 18
3.2.1 Otomotiv Motoru Uygulamaları ..... 19
3.2.2.Kesici Aletler ve Sabit Disklerde DLC Kaplama ..... 20
3.2.3.Biyomedikal Uygulamalar ..... 20
3.3. Silisyum Karbür (SiC): Özellikleri ve Uygulamaları ..... 22
3.4. Method ..... 23
3.4.1. Karbon Kaplama için Ana İşlemler ..... 23
3.4.1.1. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) Tekniği ..... 23
3.4.1.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) Tekniği ..... 24
3.4.2. ECR Plazma Geliştirilmiş Film Birleştirme Sistemi ..... 25
3.4.2.1. ECR Plazma Kaynaklarının Ana Bileşenleri ..... 26

3.4.2.2 ECR Plazma Kaynaklarının Çalışma Prensibi..... 32
3.4.2.3 ECR Kaynaklarının Avantaj ve Dezavantajları..... 33
3.5. İnce Filmlerin Karakterizasyonu..... 33
3.5.1. X-ışını Kırınım..... 33
3.5.2. Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi..... 34
3.5.2.1. Soğurma Katsayısı Hesabı..... 35
3.5.2.2 Doğrudan ve Dolaylı Bant Boşlukları..... 35
3.5.2.3. Yasak bant aralığı enerjisinin hesaplanması..... 37
3.6.Analiz Yöntemleri..... 37
3.6.1. Raman Spektroskopisi..... 37
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR..... 39
4.1. Karbon Esaslı Yarı İletken İnce Film Üretimi..... 39
4.1.1. Karbon İnce Filmlerin Üretim Koşulları..... 40
4.2. ECR Yöntemi İle Elde Edilen DLC İnce Filmlerin X-Işını Çalışmaları..... 44
4.2.1 Cam Alt Tabanların XRD Sonuçları..... 44
4.2.2 Paslanmaz Çelik Alt Tabanların XRD Sonuçları..... 45
4.2.3 Titanyum Alt Tabanlara Ait XRD Sonuçları..... 47
4.2.4 Silisyum Alt Tabanlar Üzerine Depolanmış Karbon Filmlere Ait XRD Sonuçları..... 48
4.2.5 Alüminyum Alt Tabanlara Ait XRD Sonuçlar..... 50
4.3.Farklı Alt Tabanlara Depolanan DLC İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi..... 51
4.4. DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Yapısal Özellikleri..... 55
4.4.1 Cam Alt Tabanlar Üzerine Depolanan DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Raman Spektroskopisi..... 56
4.4.2 Paslanmaz Çelik Alt Tabanlarda ki DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Raman Spektroskopisi..... 61

4.4.3 Titanyum Alt Tabanlı Diş Tellerinde ki DLC Amorf Karbon İnce Filmlerin Raman Spektroskopisi..... 63
4.4.4 Silisyum Alt Tabanlar Üzerine Depolanan DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Raman Spektroskopisi..... 64
4.4.5 Alüminyum Alt Tabanlarda ki DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Raman Spektroskopisi..... 66
4.5. Farklı Alt Tabanlar Üzerine Depolanan DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Morfolojik Özellikleri ..... 67
4.5.1. DLC Amorf Karbon Kaplı Farklı Alt Tabanların AFM Görüntüleri ..... 68
4.5.1.1 Cam Alt Tabanlara Ait AFM Görüntüleri ..... 68
4.5.1.2 DLC ve Amorf Karbon Kaplı Paslanmaz Çelik Alt Tabanlara Ait AFM Görüntüleri..... 71
4.5.1.3 DLC Kaplı Titanyum Alt Tabanlı Diş Teline Ait AFM Görüntüleri ..... 76
4.5.1.4 DLC Kaplı Silisyum Alt Tabanlara Ait AFM Görüntüleri ..... 78
4.5.1.5 DLC Kaplı Alüminyum Alt Tabanlara Ait AFM Görüntüleri ..... 82
4.5.2. Farklı Alt Tabanlarda ki DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin SEM Görüntüleri ..... 84
4.5.2.1 DLC Kaplı Cam Alt Tabanlara Ait SEM Görüntüleri..... 84
4.5.2.2 DLC Kaplı Paslanmaz Çelik Alt Tabanlar Üzerine Depolanan Ait SEM Görüntüleri..... 89
4.5.2.3 DLC Kaplı Titanyum Alt Tabanlı Diş Tellerine Ait SEM Görüntüleri ..... 93
4.5.2.4 DLC Kaplı Silisyum Alt Tabanlara Ait SEM Görüntüleri ..... 95

4.5.2.5 DLC Kaplı Alüminyum Alt tabanlara Ait SEM Görüntüleri ..... 95
4.5.3 Vickers Yüzey Sertlik Ölçüm Sonuçları ..... 96
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 99
KAYNAKLAR ..... 101
ÖZGEÇMİŞ ..... 109

**ÇİZELGELER DİZİNİ** **SAYFA**

Çizelge 4.1. Cam alt tabanlar üzerine farklı akılardaki metan gazı kullanılarak farklı iyon enerjisi ve sürelerde üretilen DLC ve ince filmlerin üretim koşulları ..... 41
Çizelge 4.2. Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin üretim koşulları ..... 42
Çizelge 4.3. Titanyum (diş teli) alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin üretim koşulları ..... 42
Çizelge 4.4. Silisyum alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin üretim koşulları ..... 43
Çizelge 4.5.Alüminyum alt tabanlardaki DLC ince filmlerin üretim koşulları ..... 43
Çizelge 4.6. Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon kaplamaya ait XRD değerleri ..... 46
Çizelge 4.7. Titanyum (diş teli) alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon kaplamanın XRD analiz tablosu..... 47
Çizelge 4.8. Silisyum alt tabanlar üzerine depolanan karbon filmlerin XRD analiz tablosu ..... 49
Çizelge 4.9. Silisyum alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve Amorf Karbon Kaplamanın XRD analiz tablosu ..... 51
Çizelge 4.10. Farklı $CH_4$ gaz akış oranlarında depolanan DLC ve amorf karbon İnce filmlerin optik özellikleri ..... 54
Çizelge 4.11. Karbonun sp, $sp^2$, $sp^3$ bağ yapısını gösteren tablo ..... 55
Çizelge 4.12. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin Raman analizi..... 61
Çizelge 4.13. Cam alt tabandaki DLC ve Amorf Karbon İnce Filmler ‘in AFM yüzey pürüzlülük değerleri..... 68
Çizelge 4.14. Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin AFM yüzey pürüzlülük değerleri ..... 72

Çizelge 4.15. DLC Kaplı titanyum alt tabanlı diş teline ait AFM yüzey pürüzlülük değerleri ..... 76
Çizelge 4.16. Silisyum alt-tabanda ki DLC filmin AFM yüzey pürüzlülük değerleri (OSi1-OSi3-OSi6 ön-gerilim uygulandı) ..... 79
Çizelge 4.17. Alüminyum alt-tabana depolanan DLC filmin AFM Ra ve Rq değerleri ..... 83
Çizelge 4.18. Kaplamasız ve $CH_4$depolanan paslanmaz çelik numunede Vickers yüzey sertlik ölçüm sonuçları ..... 97

**ŞEKİLLER DİZİNİ** **SAYFA**


Şekil 3.1. Temel, uyarılmış ve hibritleşmiş halde bulunan karbonun elektronik konfigürasyonu enerji seviyeleri (Karbon Kimyasına Giriş- Kimya Budur) ..... 11

Şekil 3.2. $Sp^3$, $sp^2$ ve $sp^1$ hibritleştirilmiş atomların şematik gösterimi (Carbyne Üzerinde Çekişme | 23 Kasım 2015 Sayı- Cilt. 93 Sayı 46)..... 12

Şekil 3.3. Karbon allotropları ..... 13

Şekil 3.4. Elmas ..... 14

Şekil 3.5. Grafit ..... 14

Şekil 3.6. Fulleren..... 15

Şekil 3.7. Amorf Karbon ..... 16

Şekil 3.8. Amorf karbon-hidrojen sisteminin üçlü faz diyagramı ..... 18

Şekil 3.9. DLC kaplamalı piston pimi ..... 20

Şekil 3.10. DLC kaplamalı kemiğe vidalanan ortopedik vida..... 21

Şekil 3.11. Metal diş teli..... 22

Şekil 3.12 Yüzey kaplama tekniklerinin kullanılan kaplama malzemesinin fiziksel durumuna göre sınıflandırılması. ..... 23

Şekil 3.13. CVD kaplamalar..... 24

Şekil 3.14. Plazma ışın kaynağının ve ECWR kaynağının şematik gösterimi(Robertson ,2002)..... 25

Şekil 3.15. ECR-CVD sisteminin şematik bir diyagramı ..... 26

Şekil 3.16. Plazma tabancası ..... 27

Şekil 3.17. Reaksiyon odası..... 27

Şekil 3.18. Vakum odasının içi..... 28

Şekil 3.19. Atom/İyon Hibrit Kaynağı ..... 28

Şekil 3.20. Gaz akış-basınç kontrol sistemi..... 29

Şekil 3.21. GazVanası ..... 29

Şekil 3.22. Turbo moleküler Pompa Sistemi ..... 30
Şekil 3.23. Azot, Oksijen ve Metan Tüpü ..... 31
Şekil 3.24. Soğutma sistemi ..... 31
Şekil 3.25. Malzeme tutucu ..... 32
Şekil 3.26. Perkin-Elmer UV / VIS Lamda 2S spektrofotometre ..... 35
Şekil 3.27. Bir yarıiletkenin bant yapısı ve bandın şematik gösterimi ..... 36
Şekil 3.28. Dolaylı ve doğrudan geçiş ..... 37
Şekil 4.1. Cam alt tabanlar üzerine depolanan karbon ince filmlerin XRD desenleri ..... 44
Şekil 4.2. Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamaya ait XRD grafiği ..... 45
Şekil 4.3. Titanyum (diş teli) Alt tabanlar üzerine depolanan DLC Kaplamanın XRD grafiği ..... 47
Şekil 4.4. Silisyum alt tabanlar üzerine depolanan karbon filmlere ait XRD grafiği ..... 48
Şekil 4.5. Alüminyum alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın XRD grafiği ..... 50
Şekil 4.6 Cam alt tabanlar üzerine depolanan farklı metan gaz akış oranları ile üretilen DLC ve amorf karbon ince filmlerin optik geçirgenlik eğrileri ..... 52
Şekil 4.7. Farklı metan gaz akış oranlarında üretilen DLC ve amorf karbon ince filmlerin $(\alpha h\upsilon)^{1/2}$-E grafikleri ..... 53
Şekil 4.8. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin Raman spektroskopisi ..... 57
Şekil 4.9. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin Raman spektroskopisi ..... 58
Şekil 4.10. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin Raman spektroskopisi ..... 58

Şekil 4. -11. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin raman grafikleri (dekonvole edilmiş hali) ..... 60
Şekil 4.12. Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon kaplamanın Raman grafikleri ..... 63
Şekil 4.13. Titanyum (diş teli) alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin Raman grafiği (gaussian- dokonvole edilmiştir) ..... 64
Şekil 4.14. Karbon kaplı Osi1 örneğine ait a) Raman grafiği b) Gaussian-dekonvole edilmiş şekli ..... 65
Şekil 4.15. DLC kaplı Al1 ‘e ait Raman grafiği (Lorentz ‘yen uygulanmıştır).... 67
Şekil 4.16. DLC kaplı Al2’ ye ait Raman grafiği (Lorentz ‘yen uygulanmıştır) ..... 67
Şekil 4.17 (a)OC1, (b)OC2, (c) OC5, (d) OC8, DLC ve amorf karbon kaplı cam alt tabanların AFM görüntüsü..... 70
Şekil 4.18. (e) OC9, (f) OC10, (g)OC11, (h)OC12, DLC ve amorf karbon kaplı cam alt tabanların AFM görüntüsü..... 71
Şekil 4.19. Metal alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın AFM görüntüleri ..... 73
Şekil 4.20. Metal alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın AFM görüntüleri ..... 73
Şekil 4.21. Metal alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın AFM görüntüleri ..... 74
Şekil 4.22. Metal alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın AFM görüntüleri ..... 75
Şekil 4.23. Metal alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın AFM görüntüleri ..... 75
Şekil 4.24. Diş teli1’de ki DLC Kaplamanın AFM yüzey görüntüsü..... 76
Şekil 4.25. Diş teli1’de ki DLC kaplamanın AFM görüntüsü ..... 77
Şekil 4.26. Diş teli2’de ki DLC kaplamanın AFM yüzey görüntüsü ..... 77

Şekil 4.27. Diş teli2'de ki DLC kaplamanın AFM görüntüsü ..... 78
Şekil 4.28. Osi1'de ki DLC kaplamanın AFM görüntüsü ..... 79
Şekil 4.29. OSi2' de ki DLC kaplamanın AFM görüntüsü ..... 80
Şekil 4.30. OSi3' de ki ön gerilim uygulanan DLC kaplamanın AFM görüntüsü (yükseklik sıkalası -10 nm +40 nm arasındadır) ..... 80
Şekil 4.31. OSi4'de ki ön gerilim uygulanmayan DLC kaplamanın AFM görüntüsü (yükseklik skalası -200nm +200 nm arasındadır)..... 81
Şekil 4.32. OSi5'de ki ön gerilim uygulanmayan DLC kaplamanın AFM görüntüsü (yükseklik skalası -200 +200nm) ..... 81
Şekil 4.33. OSi6'de ki ön gerilim uygulanmayan DLC kaplamanın AFM görüntüsü (yükseklik skalası -5 +15nm arasında) ..... 82
Şekil 4. 34. DLC kaplı Al1 örneğine ait AFM görüntüsü..... 83
Şekil 4.35. DLC kaplı Al2 örneğine ait AFM görüntüsü..... 84
Şekil 4.36. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin SEM görüntüsü ..... 85
Şekil 4.37. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin SEM görüntüsü ..... 86
Şekil 4.38. OC9 ve OC10, cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin SEM görüntüsü ..... 87
Şekil 4.39. OC11 ve OC12, cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin SEM görüntüsü ..... 88
Şekil 4.40. OC17, cam alt taban üzerine depolanan DLC ince filmlerin SEM görüntüsü ..... 88
Şekil 4.41. OM2 metal alt tabanlar üzerine üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri a) 5.000 b) 50000 büyültme ..... 89
Şekil 4.42. OM3 metal alt tabanlar üzerine üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri a) x2000 b) x20000 büyültme ..... 90
Şekil 4.43. OM4 metal alt tabanlar üzerine üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri a) x5000 b) x50000 büyültme ..... 91

Şekil 4.44. OM5 metal alt tabanlar üzerine üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri a) 50000 b) 100000 büyültme ..... 91
Şekil 4.45. OM6 metal alt tabanlar üzerine üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri a) 5000 b) 20000 büyültme ..... 92
Şekil 4.46. OM11 metal alt tabanlar üzerine üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri ..... 93
Şekil 4.47. DLC kaplı diş teli1 örneğine ait SEM görüntüleri ..... 94
Şekil 4. 48. Silisyum alt taban üzerine büyütülen OSi1'e ait DLC kaplamanın SEM görüntüsü a) 5000 b) 10000 büyültme ..... 95
Şekil 4.49. Al1 örneğine ait DLC kaplamanın SEM görüntüsü a) 5000 b) 50000 büyültme ..... 96
Şekil 4.50. Al2 örneğine ait DLC kaplamanın SEM görüntüsü a) 5000 b) 20000 büyültme ..... 96
Şekil 4.51. Vickers sertlik ölçüm cihazı mikroskop görüntüsü ..... 98

## SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|---|---|
| AC | : Alternatif Akım |
| AFM | : Atomic Force Microscop-Atomik Kuvvet Mikroskobu |
| CD | : Crystalline diamond-kristal elması |
| CNT | : Carbon nanotube-Karbon nanotüp |
| CNW | : Carbon nanowall-Karbon nanoduvar |
| CNW-LF | : Carbon nanowall-like flower-Karbon nanoduvar-çiçek benzeri |
| CV | : Capacitance–voltage- kapasitans-voltaj |
| CVD | : Chemical Vapor Deposition- Kimyasal Buhar Depolama |
| DC | : Doğru Akım |
| DLC | : Diamond like carbon- elmas benzeri karbon |
| DLCH | : Elmas benzeri a-C: H |
| ECR-MP | : Electron Cyclotron Resonance Microwave Plasma |
| GLCH | : grafit benzeri a-C: H |
| MW | : Micro Wave-Mikro Dalga |
| PECVD | : Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition-Plazma Destekli |
| PLCH | : Polimer benzeri a-C: H |
| RBS | : Rutherford backscattering spectrometry-Rutherford geri saçılım spektroskopisi |
| PBS | : plazma ışını kaynağı |
| RF | : Radyo Frekans |
| SE | : Spectroscopic Elipsometry |
| SEM | : Scanning Electron Microscope, Taramalı Elektron Mikroskobu |
| SWP | : Surface Wave Plasma- Yüzey Dalga Plazma |
| ta-C: H | : Tetrahedral a-C:H |
| UV | : Ultra Violet |

| | |
|---|---|
| XPS | : X-rays Photoelectron Spectroscopy-X ışınları fotoelektron Spektroskopis |
| XRD | : X-Ray Diffraction-X-Işını Kırınımı |
| XRR | : X Işını Yansıması |

# 1.GİRİŞ

Son yılların gelişen teknolojilerinden olan nanoteknoloji materyal üzerinde atomik ve moleküler düzeyde yapılan her türlü çalışmaların bütünüdür. Nano kristal malzemelerin önemi; bu malzemelerin optik ve elektronik özellikleri sayesinde teknolojideki geniş uygulama alanları oluşturmalarıdır.

Günümüzde, malzeme bilimi alanındaki hızlı gelişmelerden biri de karbon bazlı malzemeler olmaktadır. Karbon bazlı malzemelerin teknolojik alanda kullanımları ve kaplandığı yüzeye katkıları göz önüne alındığında büyük öneme sahip oldukları görülmektedir. Doğadaki en çok bulunan elementlerden biri olan karbon; elmas, grafit ve nano kompozit yapılar şekillerinde kristalize olabilen çok yönlü bir elementtir. Evrende, hidrojen, helyum ve oksijenden sonra en çok karbon elementi bulunmaktadır. Karbon atomları; grafit, elmas ve amorf karbon gibi birçok allotrop oluşturarak farklı şekillerde birbirlerine bağlanabilmektedirler. Bu durum, karbonu birçok uygulamada ilginç bir malzeme haline getirmektedir (Delhaes 2013). Oda sıcaklığında karbon bazlı ince filmler, yüksek kararlılık, mekanik dayanım, düşük termal genleşme katsayısı, kimyasal olmayan reaksiyona dayanıklılığı ve yüksek termal iletkenlik gibi mükemmel özelliklere sahip olmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı, çoğu foto-optik cihaz uygulamaları, özellikle fotovoltaik güneş pilleri için çekici malzemelerden biri olmaktadır (Charitidis ve Materials,2010).

1971 yılında ilk yalıtkan karbon filmi, iyon demeti biriktirme (IBD) işlemi kullanılarak Aisenberg ve Chabot tarafından üretilmiştir. Bu karbon filmlerin doğal elmas ile benzer özelliklere sahip olduğunun fark edilmesiyle yeni amorf karbon formu olan “Elmas Benzeri Karbon” (DLC) ortaya çıkmıştır. Son yirmi yıl boyunca, yüksek mekanik sertlik, düşük sürtünme katsayısı, kimyasal inertlik, yüksek aşınma direnci ve yüksek biyouyumluluk gibi faydalı özelliklerinden dolayı, kaplama için elmas benzeri karbon malzemelerin kullanılmasına büyük ilgi

gösterilmektedir (Hosson 2007). Metal yüzeylerin karbon ve karbon bileşikleri ile kaplanmasının kullanım amaçları şunlardır:

- Sürtünmeyi azaltma amacıyla yapılan kaplamalarda genellikle elmas özellikli karbon kullanılmaktadır. DLC ile kaplanan yüzeylerde sürtünme özelliğinin azalmasıyla beraber, elmas benzeri özellik ile aşınmanın da önüne geçilmektedir.
- Elmas benzeri karbon kaplamalar, özellikle otomotiv endüstrisinde, aşınma parçalarının performansını artırmak için çok çeşitli endüstriyel uygulama alanlarında kullanılmaktadır.
- DLC filmleri, sabit disklerde, manyetik kayıt kafalarında ve koruyucu kaplama uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama ile çok kullanılan mekanik aksamları ve bilgisayar hard disklerinde karbon kaplanan metal yüzeyi mekanik çizilmelerden, çevresel koşullardan ve diğer etkilerden korumaktadır.
- Kesici takımlarda, tıraş bıçaklarında aşınma önleyici katman ve güneş gözlüklerinde yansıma önleyici katman olarak da kullanılmaktadır.
- DLC zehirli olmayan bir malzemedir; stent, kalça ve dental implantlar gibi vücut içi biyomedikal cihazların yüzey kaplamalarında kullanımını uygun hale getiren yüksek biyouyumluluk özelliğine sahiptir.
- Medikal cihazların; diş implantları, protez uygulamaları, yumuşak kontak lensler, kateterler ve kardovasküler parçaların kaplanmasında DLC kullanılmaktadır.
- Ortopedik uygulamalarda kullanılan metalin karbonla kaplanması kırığın kaynamasını hızlandırmakta ve metal parçanın dayanıklılığını artırmaktır (Aytutuldu, 2004; Preshaw ve ark,2004).

İnce filmin özellikleri; biriktirme yöntemine, oluşma parametrelerine ve test koşullarına büyük ölçüde bağlı olmaktadır. Her yöntemin kendi avantajları ve

dezavantajları vardır. Filmler genellikle iyon demeti destekli biriktirme, kimyasal buhar biriktirme, darbeli lazer biriktirme, sol-gel ve magnetron sıçraması dahil olmak üzere çeşitli biriktirme yöntemleri kullanılarak büyütülmektedir. Bu yöntemlerden biri, yüksek elektron sıcaklığı ve yüksek iyonlaşma hızı gibi eşsiz plazma özellikleri sayesinde çok çekici görünen elektron siklotron rezonans kimyasal buhar biriktirme yöntemidir. Diğer biriktirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, ECR-CVD tekniği cazip bir özellik sunar. İnce film üretilirken, depolamada kullanılan iyon enerjisi ve ön gerilim bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir (Cui ve ark., 2001).

Biriktirme işlemi sırasında alt tabakaya bir ön gerilim voltajı uygulanmaktadır. Bu kritik bir parametredir, çünkü alt tabanı bombardıman etmek için iyonları çekerek üretilen filme ek enerji sağlayabilmektedir. Filmin büyümesindeki iyon bombardımanı, filmin özelliklerinde farklılaşmalara yol açmaktadır (Yang ve ark. 2000).

Karbon yapıların üretiminde birçok yöntem kullanılmaktadır ve üretilen yapılar elmas, DLC, karbon nanotüp, grafen benzeri olabilmektedir. Bahsedilen yapılar, ECR yöntemi kullanılarak da yapılabilmektedir. ECR yöntemi yüksek vakum altında gerçekleştiğinden istenmeyen safsızlık atomları kaplamaya karışmamaktadır. Karbon atomlarının atomsal boyutta safsızlık içermeden düzgün dizilimle yüzeyde oluşturulması yukarıda bahsedilen yapıların kaplama olarak oluşması açısından çok önemlidir. ECR yöntemi ile metan molekülü ayrıştırılıp hidrojen gazı ortamdan turbomoleküler pompa ile atılarak kalan atomlar moleküler düzeyde yüzey üzerinde düzgün dizilimli nano yapılar oluşturmaktadır. Bu yapılar ortamla etkileşimli yapılar olacağından malzemenin dayanımı ve aşınmayı olumlu yönde etkilemektedir. Nano boyutlarda hassas yapılar oluşturabilen ECR yöntemi ile metan gazı ayrıştırılarak karbon atomlar taban malzemeler üzerine gönderilerek kaplama yapılmaktadır. Bu kaplama tekniği ile çok sert karbon yüzeyler oluşturularak yüzey aşınmasına dayanıklı, kaygan, insan vücuduna zarar vermeyen kaplamalar yapılmaktadır (Corbella,2005).

Bir çalışmada azot katkılı film elde etmek için reaksiyon odacığına saf azot verilebilmektedir. Hem azot katkılı karbon hem de karbon nitrür üretmek mümkün olmaktadır. Azot katkılı ve katkısız karbon filmler üretilerek taban materyali olarak metal yüzeyler kaplanmıştır. Bu yöntemde kullanılan gazın oranı elde edilen filmin mekanik özelliklerini etkilemektedir (Robertson,2002).

Bu filmlerin optik, morfolojik ve yapısal özellikleri; spektrofotometre, Raman spektroskopisi, atomik kuvvet mikroskobu (AFM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını difraktometresi (XRD) gibi farklı karakterizasyon teknikleri kullanarak araştırılmıştır.

# 2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Karbon yüzey kaplamalarının önemi ve avantajları son on yılda önemli ölçüde artmıştır (James C ve ark.) ve karbon bileşikleri karbon benzeri elmas (DLC), karbon nanoduvar (CNW) ve karbon nano tüp (CNT) şeklindedir. (Panga ve ark., R. Kar ve ark. 2018, M.S. Dresselhaus ve ark.)

DLC, amorf bir karbon formudur ve iyi aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı ve kimyasal verimsizliği nedeniyle mekanizma parçalarının tercih edilen kaplama adaylardan biridir (Robertson 2002, Şeker ve ark.).

Karbon nano tel (CNW), grafen katmanlarında ve alt taban (R. Kar ve ark. 2018) üzerinde duvar gibi duran iki boyutlu bir nano yapıdan oluşmaktadır. Karbon nano tüpler (CNT), boru çapı (1-100 nm) ve belirli büyüklükte (1-10 μm) belirli bir yüzey alanı gerçekleştiren grafit katmanlar tarafından yapılır (Zare Y. ve ark. 2020).

Sertlik, pürüzsüzlük, aşınma direnci, manyetik koruyucu, antitoksisite, çevre dostu, biyouyumluluk gibi birçok özelliğe ek olarak, yüksek ısı kapasitesi, sıcaklık toleransı, bir yana-taban toleransı, ara yüz gibi elektronik yarı iletken alanlar için birçok özelliğe sahiptir. Karbonun yüzeylere sağladığı aşınma direnci vb. karbonu teknoloji ve bilimin yeni favori malzemelerinden biri haline getirmiştir (Ahmed Al-Jumaili ve ark.).

Karbon nano duvarlar (CNW); yüksek bir yüzey alanına, en boy oranına ve alan emisyon kapasitesine sahiptir, bu özellikte onları vazgeçilmez kılar. ECR, geniş spektrumlu karbon bileşikleri (Itoh ve ark,2006) üretmek için iyi bir yöntemdir. ECR kaplama sistemi, düşük basınç, sıcaklık, yarı iletken malzemeler ($Al_2O_3$) ve yüksek RF manyetik güç anteni gibi birçok avantaja sahiptir, bu özellikler nedeniyle sistem düşük katkıların ve yüksek sıcaklığa duyarlı yüzeylerin kaplanmasını sağlamıştır. Ek olarak, güçlü manyetik alan ve mikrodalga radyasyonundan kaynaklanan karbonun yapısal kusurlarını azaltmaktadır. Bu özellikler nedeniyle, sistemin yüksek yoğunluklu plazma ve metan atomlarının

(Kara ve ark. 2014, Poluekto ve ark. 1996) iyonlaşma derecesinde artış sağlanabilir.

DLC sentezi için düşük gaz basıncı gereksinimi, işlem sırasında kontrol edilebilir iyon enerjisi ve yüksek plazma yoğunluğu gibi üstünlükleri nedeniyle ECR-MPCVD eşsiz bir plazma tekniğidir (Li ve ark. 2005). Bu teknikte plazma, mikrodalga radyasyonunun güçlü bir şekilde emilmesiyle oluşturulan manyetik bir alanda bir RF anteni tarafından üretilir. Böyle gazda elektrik boşalması, yüksek yoğunluklu bir plazma ve metal atomlarının artan iyonlaşma derecesi çok çeşitli basınç değerlerinde elde edilebilir (Poluektov ve ark.,2001; Takehiro ve ark.,1991; Holberg ve ark., 1993; Gorbatkin ve ark. 1996).

Elmas benzeri (DLC) ince filmler, RF (13,56 MHz) uygulanarak 60V ila 150V arasında değişen farklı DC gerilimlerle, Ar ve CH4 gazları kullanılarak ECR-CVD yöntemiyle metal ve cam alt taban üzerine biriktirilmiştir. Üretilen filmler, temas açısı ölçümü, atomik kuvvet mikroskobu (AFM), spektroskopik elipsometri (SE), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını foto elektron spektroskopisi (XPS) ve Raman spektroskopisi gibi farklı tekniklerle karakterize edilmiştir (Wo ve ark,2006).

ECR-CVD yeni bir tekniktir ve az sayıda araştırmacı bu yöntemle DLC kaplama üzerinde araştırmalar yapmıştır (Li ve ark. 2005; Yoon ve ark. 1999). Ayrıca, bilim adamlarının çoğu cam veya silikon gibi metalden farklı yüzeylerde DLC film oluşumunu incelemişlerdir (Seker ve ark. 2014; Chiba ve ark. 2005; Sharma ve ark. 2008; Salvadori ve ark. 2006; Haq ve ark. 2007). Çeşitli gaz akış hızlarına sahip DLC kaplı çelik malzemenin üzerindeki tribolojik etkilerinin kapsamlı analizler daha önce iyi belirlenmemiştir.

Bu nedenle, bu çalışmanın ateşlemeli motorların verimliliğini artırma konusunda umut verici olma potansiyeli olduğuna inanılmaktadır (A Yılmaz ve M. Esen ,2019(yayınlanmadı). Sanchez ve ark. Yaptığı çalışmada ince DLC filmleri, cam alt tabanlar ve paslanmaz çelik üzerinde bir RF (13.56 MHz) magnetron

püskürtme tekniği ile biriktirildi. $N_2$ / $CH_4$'ün bir gaz karışımı ve %99,99' luk bir karbon hedefi kullanıldı.

Filmler taramalı elektron mikroskobu (SEM), Raman spektroskopisi ve kızılötesi spektroskopisi ile analiz edildi. Raman analizinden, elmas ve grafit tepelerinin ($I_D/I_G$) Raman yoğunluğu, gaz karışımındaki $CH_4$ oranına dayanmaktadır. IR spektroskopisi analizinde 2870 ve 2960 $cm^{-1}$ germe tepe noktalarında $sp^3$ $CH_2$ simetrik ve asimetrik olduğu gözlendi. Bu zirveler, elmas benzeri karbon DLC filmlerinde ve yüksek $CH_4$ konsantrasyonlarında biriktirilen elmasta gözlemlendi (Sanchez ve ark. 2000).

Filmlerin 514,5 nm dalga boyu şartlarındaki Raman sonucunda tipik D, G ve 2D pikleri gözlendi. Azot katkılamayla birlikte DLC ve grafittik yapıdaki filmlerin yapı ve yüzeydeki düzensizliğin azalmasının yanı sıra $sp^2$bağları halka yapısına dönüşerek $sp^2$ kümeleşmesinin de arttığı tespit edildi (Şeker, 2016).

(-200V-800V) bias uygulanarak üretilen tüm filmlerde Young modülü ve sertlik değerlerinde, katkılamada kullanılan azot sonucunda oluşan $sp^2$ zincirlerindeki artışa bağlı olarak azalma gözlendi (Champi ve ark, 2012)

Hidrojenlenmiş amorf karbon ince filmlerin nanomekanik özellikleri nanoindentasyon yöntemiyle belirlendi. Hidrojen amorf karbon ince filmler ECR-MPCVD sistemi ile cam ve metal alt tabanlara biriktirildi. Negatif ön gerilim voltajının bu filmler üzerindeki etkisi Raman spektroskopisi ile araştırıldı. Sonuçlar, uygulanan voltajı arttırırken, yoğunluk oranının (ID / IG) arttığını göstermektedir. Bu sırada, Young modülü ve sertlik derecesinin arttığı görüldü. Hem Young modülü hem de sertlik derecesi, girinti derinliği arttıkça azaldı (Jian, Fang ve Chuu 2004). Azottaki kısmi basınç 0.05Pa değerine ulaştıktan sonra G piki kaymasının ve Id/Ig oranının maksimum G piki yarı değerinin de minimum olduğu görüldü. Yapıya dahil olan azot karbonun yerine geçerek olefinik zincirleri daha iletken grafitik halkalara dönüştürmesiyle elektriksel iletkenliğe katkıda bulunduğu öne sürüldü (Lagrini ve ark,2005). Raman sonucunda gözlenen D ve G pikleri ile

hesaplanan Id/Ig oranındaki artma, filmlerin $sp^2$ içeriğindeki artışa sebep olduğu ve bu oranla ters orantılı olduğu gözlendi (Othman ve ark,2011).

Ayrıca, bu numuneler daha düşük aşınma ömrüne ve düşük sıcaklıklarda üretilenden düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Daha yüksek bir sıcaklıkta üretilen örneklerin yapısı daha kompakt ve nanokristal karbon nitrür oluşumundan dolayı yüzey pürüzlülüğü daha büyüktür. Bir çalışmada, kalınlığın aşınma önleme ömrü üzerindeki etkisi de incelendi. En kalın filmin en uzun kullanım ömrüne sahip olduğu görüldü (Guo ve ark. 2011).

Karbon nitrür filmler, kimyasal buhar biriktirme yöntemi kullanılarak doğru akım radyo frekansı plazması ile sentezlendi. Plazma kaynağı olarak $CH_4$ ve $N_2$ kullanılmıştır. Basınç, 2-20 Pa aralığında değiştirildi. Büyüme hızı, plazma yoğunluğundaki artıştan dolayı birikme basıncını yükselterek arttı (Hao, Xu ve Liu 2005).

Elektron siklotron rezonans kimyasal buhar biriktirme metodu, elmas benzeri karbon (DLC) üretmek için kullanılmaktadır. Bu ince filmlerin özellikleriyle beraber $CH_4$ plazma parametrelerinin film biriktirme üzerindeki etkileri incelendi. Filmlerin oldukça nitelikli olduğu bulundu ve enerji, radikallerinkiyle aynı 16 eV / Å'da akı yoğunluğunda aktarıldı (Inaba et al. 2002). AFM görüntülerinde düzgün yüzeylere sahip ve 80W RF güçte üretilen filmde yüzey pürüzlülüğünün de en fazla olduğu görüldü. Belli bir RF güç değerine çıkıncaya kadar baskın olan $sp^3$ zincirinin azotun film yapısına katılmasını güçleştirmesinin bu duruma neden olabileceği ifade edildi (Othman ve ark,2011).

350, 400, 450, 500 ve 550 W plazma gücü ile 10dk depolanan filmlerde RF plazma gücü arttıkça film kalınlığı ve depolama oranının arttığı XRD analizinde geçirgenlikteki filmler ile bant aralığı ve kırılma indisinin düştüğü, sönüm katsayısının ise artış gösterdiği tespit edildi (Mohamed ve ark,2010).

Elmas benzeri karbon (DLC) filmler, değişken ön gerilim voltajı altında bir plazma CVD işlemi kullanılarak cam ve metal alt tabanı üzerinde biriktirildi. Uygulanan gerilimin DLC filmlerinin mekanik, yapısal ve tribolojik özellikleri

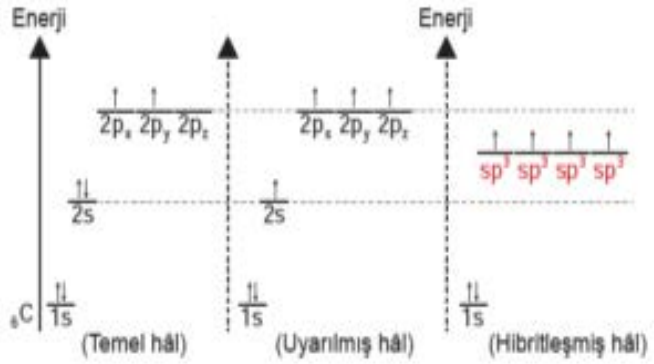
üzerine etkisi incelendi. Farklı ortamlarda, DLC filmlerinin aşınma direnci, alt taban ön gerilimi arttıkça azaldığı bulundu (Zhang ve ark. 2002). Ön gerilim voltajı arttıkça tüm filmlerde bozuklukların artmasına neden olduğu görüldü (Cui ve ark. 2001).

Bu çalışmada, DLC elmas benzeri yapılar, karbon gibi nanoyapıların varlığı nano tüp, karbon nanotel cam ve silikon yüzeylerde gözlendi. Kaplamaların özellikleri Raman, XRD, UV-VIS, SEM ve AFM analizi ile araştırıldı.

# 3. MATERYAL VE METOD

## 3.1. Karbon Bazlı Malzemeler

Karbon esaslı malzemelerin sentez ve uygulamaları yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Bütün bir evrende, doğal ve sentetik elmas, farklı grafit modifikasyonu, fulleren, karbon lifleri ve bunların kompozitleri gibi farklı kristalografik yapılardan var olmaktadır. Nanoteknoloji alanındaki gelişmelerle beraber; malzeme büyüklüğünün nanometre boyutuna inmesi, yeni çalışma alanlarına neden olmuştur (Fecht ve Brühne 2016). Karbon, periyodik tablodaki 6. elementtir ve hemen hemen her yerde bulunur. Karbon tüm canlı organizmaların temel yapı taşıdır. Karbonun önemi, öncelikle kendisiyle ve diğer element bağlarıyla çok sayıda güçlü bağ oluşturma kabiliyetinden kaynaklanmaktadır. Temel ve uyarılmış haldeki karbonun elektronik konfigürasyonu Şekil 3.1'de gösterilmektedir.

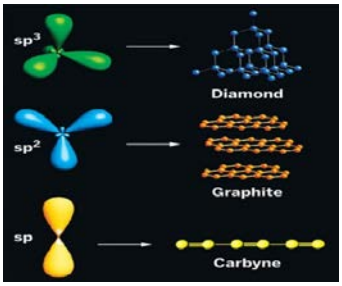



Şekil 3.1. Temel, uyarılmış ve hibritleşmiş halde bulunan karbonun elektronik konfigürasyonu enerji seviyeleri (Karbon Kimyasına Giriş- Kimya Budur)

Şekil 3.2'de gösterildiği gibi üç çeşit hibritleşme, yani $sp^1$, $sp^2$ ve $sp^3$ oluşturmak için üç farklı olasılık vardır.$sp^3$ konfigürasyonunda, 2s orbital ve üç

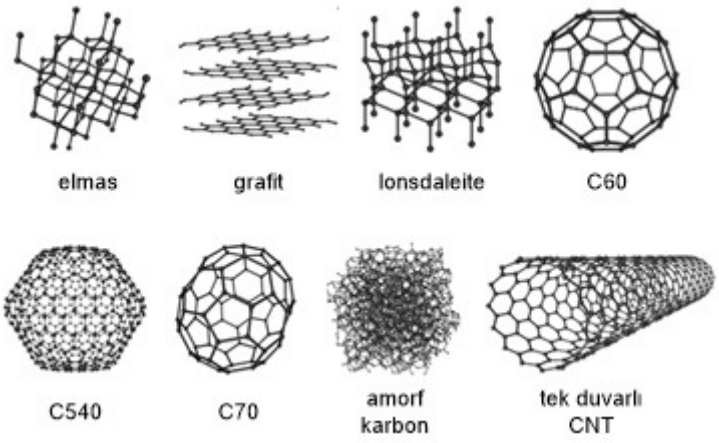
tane 2p orbitalleri, 109,50 açılı bir tetrahedral yapıda düzenlenen dört enerji eşdeğeri $sp^3$ hibrit orbital oluşturmak üzere hibritlenmektedir.

Bu yörüngeler bitişik atomlara sahip güçlü C–C σ bağları oluşturmaktadır.$sp^2$ hibritleşmesi, bağ açısının 12000 olduğu yörüngelerin trigonal düzlemsel yapısını açıklamaktadır. Bu hibritleşmede, 2s' ler orbital ve 2p orbitallerin ikisi, üç aynı $sp^2$ hibrit orbital oluşturmak üzere melezlenirler. Orbital olarak bilinen üçüncü 2p yörünge değişmeden kalır ve daha yüksek bir enerji seviyesindeki üç $sp^2$ yörüngesinin düzlemine diktir. Yapışmasında, güçlü σ bağları iki $sp^2$ yörüngesinin üst üste binmesiyle oluşur ve hibritleşmemiş 2p yörüngeler arasında yer alan nispeten zayıf bir π bağ vardır. Karbonda $Sp^2$ bağı genellikle σ ve σ bağlarından oluşan bir C = C çift bağ olarak gösterilmektedir. Bununla birlikte, $sp^1$ bağlanması bir C≡C üçlü bağıdır. Tek bir σ bağı iki eşdeğeri sp hibritleştirilmiş yörüngelerden oluşur ve iki yörünge nedeniyle iki π bağ oluşur (Yeo 2017).




Şekil 3.2. $Sp^3$, $sp^2$ ve $sp^1$ hibritleştirilmiş atomların şematik gösterimi (Carbyne Üzerinde Çekişme | 23 Kasım 2015 Sayı- Cilt. 93 Sayı 46)

Karbon, geniş bir uygulama yelpazesinde teşvik edici özellikleri olan birçok allotrop oluşturabilir. En yaygın allotroplar elmas, grafit, fulleren ve amorf karbondur. Şekil 3.3, bu allotropların kristalografik yapılarını göstermektedir.




Şekil 3.3. Karbon allotropları

Ströck, karbon allotroplarını 8 alt grupta sınıflandırmıştır.

a. Elmas karbon atomları dörtgen bir kafes düzeneği ile birbirine bağlanır.
b. Grafit karbon atomları altıgen kafes tabakalar halinde birleşmektedir.
c. Lonsdaleite kristal yapısına göre altıgen elmas olarak da adlandırılan Lonsdaleite, altıgen bir kafes ile bir allotroptur (Robertson J. ,1998).
d. Küresel fulleren, C60 karbon atomları, fullerenler beşgen ve altıgen biçiminde bağlanmaktadır.
e. Fulleren C540: Bilinen en büyük fulleren yapısıdır.
f. Elipsoidal fullerene, C70 karbon atomları elipsoidal biçiminde bir araya gelmektedirler.
g. Amorf karbon karbon atomları rastgele düzenlenmektedir.
h. Tübüler fulleren, SWCNT karbon atomları, bir boru biçiminde olmaktadır.

(Fulleren, foto-dirençli, organik fotovoltaik, spin-on karbon sert maskeleri ve organik fotoğraf dedektörleri için ideal hale getiren benzersiz özelliklere sahip grafit ve elmas ile birlikte üçüncü bir karbon formudur.)

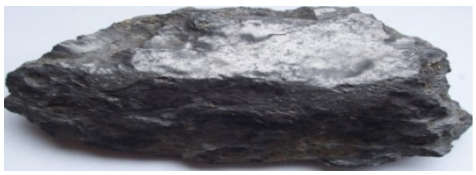
### 3.1.1.Elmas



Şekil 3.4. Elmas

Şekil 3.4'te elmasa ait resim görülmektedir. Elmasta, karbon atomları ($sp^3$ hibritlenmiş) bir tetrahedral kafes içinde düzenlenir. DLC filmlerinin davranışı çoğunlukla $sp^2$ ve $sp^3$ karbon bağlarının oranına bağlıdır. Bununla birlikte, DLC büyütmesinin avantajlarından biride karbon bombardımanı sırasında doğru miktarda $N_2$ katılımı, $sp^3$ bağlı kümelerin $sp^{2'}$ ye göre daha fazla oranda katılmasıyla olmaktadır (Zeng ve ark. 2005). Doğal elmaslar 5-6 GPa basınçta ve 900-1400 °C arasında değişen sıcaklıklarda oluşturulurlar (Pal'Yanov ve ark. 1999). Elmas, güçlü karbon-karbon kovalent bağlarından kaynaklanan aşırı sertliği ile ünlüdür. Bir elektrik yalıtkanı ve termal iletkendir. Elmas, temel olarak parlatma aletleri, endüstriyel kesimde ve değerli taş olarak kullanılmaktadır (Ren, Lan ve Wang 2012).

### 3.1.2.Grafit



Şekil 3.5**.** Grafit

Şekil 3.5'te grafite ait resim bulunmaktadır. Grafit bazı kayalarda mineral olarak oluşan ve kok kömüründen yapılabilen gri, kristalimsi, allotropik bir karbon şeklidir. Katı bir yağlayıcı olarak, kalemlerde ve nükleer reaktörlerde moderatör olarak kullanılır. Grafit, katmanlar halinde istiflenmiş karbon atomlarının düzlemsel bir yapısına sahiptir. Her katmanda, karbon atomları altıgen bir düzende birbirine bağlanır ve grafiti en yumuşak doğal malzemelerden biri yapar. Her grafit katmanındaki karbon atomları $sp^2$ melezleştirilir, katmanlar birbirine zayıf bir van der Waals kuvveti ile bağlanır. Ayrıca, grafit, daha az iletkenliğe sahip olan katmanlar içinde bir yarı metaldir ve bu özelliklerinden dolayı endüstride yağlamadaki etkisinden yararlanılır (Ren, Lan ve Wang 2012).

### 3.1.3.Fulleren

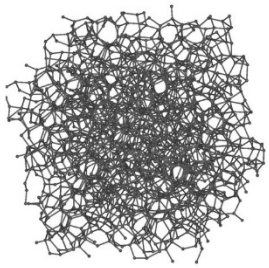
Şekil 3.6'da fullerene ait görsel bulunmaktadır. Fulleren, foto-dirençli, organik fotovoltaik, spin-on karbon sert maskeleri ve organik fotoğraf dedektörlerini ideal hale getiren benzersiz özelliklere sahip grafit ve elmas ile birlikte üçüncü bir karbon formudur. Fullerenin içindeki atomlar içi boş bir kürenin, elipsoidin veya tüpün şeklini oluşturmak üzere beşgenler ve altıgenler şeklinde düzenlenmiştir. Buckyball kümeleri, nanotüpler, mega tüpler ve nano soğanlar gibi birçok fulleren türü vardır. Fulleren çeşitleri: C60, C70, C80 şeklinde olmaktadır.



Şekil 3.6. Fulleren

Bir tüp şeklinde olan dolgulara karbon nanotüp CNT denir. Bir CNT' deki karbon atomları, nanometre çapın da içi boş silindir oluşturan kavisli bir tabakaya bağlanırlar ve boyutları milimetrede bile mikron düzeyine ulaşabilir. Fulleren düşük yoğunluğa sahiptir (1.65 g / cc). İndirgeme, oksidasyon, hidrojenasyon, radikal reaksiyon ve benzeri gibi çeşitli reaksiyonlara girebilir. Fullerenler, ışık ve oksijen varlığında ayrışmaya duyarlıdır (Mohan Gokhale ve Ravindra Somani 2015).

### 3.1.4 Amorf Karbon



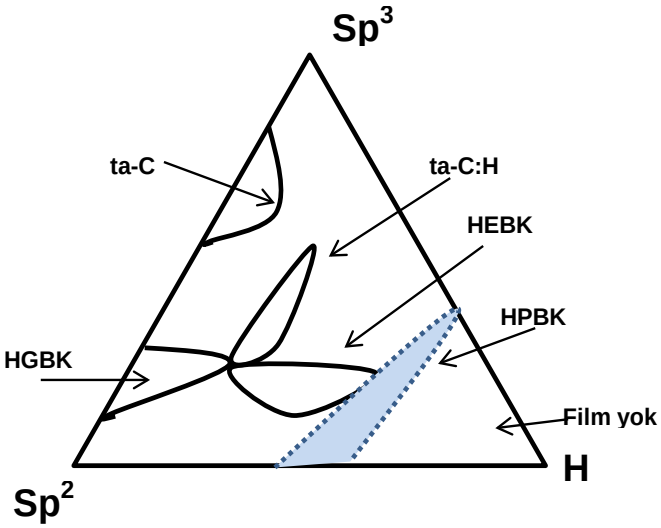

Şekil 3.7. Amorf karbon yapısı

Şekil 3.7'de amorf karbona ait görsel bulunmaktadır. Şekil 3.8 ise amorf karbon-hidrojen sisteminin üçlü faz diyagramına ait görseldir. Şekilsiz, kristal yapıya sahip olmayan serbest reaktif bir karbondur. Amorf karbon malzemeler, sarkan bağların hidrojen ile sonlandırılmasıyla stabilize edilebilmektedir. Diğer amorf katılarda olduğu gibi, bazı kısa menzilli düzen gözlenebilmektedir. Büyük bir karbon allotrop kategorisini kapsayan amorf karbon atomları veya molekülleri düzenli bir geometrik yapı göstermemektedir. Amorf karbonların herhangi bir $sp^3$, $sp^2$ ve hatta $sp^1$ bölgesi karışımı olabilir. Böylece yapıları grafit (tamamen $sp^2$) ve

elmas (tamamen $sp^3$) arasında orta düzeydedir. $Sp^2$ / $sp^3$ oranına dayanarak, bazı elmas ve grafit karakteristikleri gösterirler (Yeo 2017).

Biriktirme işlemi sırasında hidrojenin varlığı, hidrojenlenmiş bir amorf karbon oluşturur. Robertson, hidrojenlenmiş amorf karbonları aşağıdaki gibi dört gruba ayırmıştır:

1. Polimer benzeri a-C: H (PLCH) filmler olarak adlandırılan H içeriği %40-60 olan a-C: H filmler; bu filmlerin sertliği ve yoğunluğu düşüktür, (2-4) eV aralığında bir bant boşluğuna sahiptir, $sp^3$ bağ oranı %70'e kadardır. Genellikle, plazma ile güçlendirilmiş kimyasal buhar biriktirme (PECVD) kullanılarak düşük ön gerilim voltajda biriktirilirler (Robertson ve Reports 2002).
2. Genellikle elmas benzeri a-C: H (DLCH) olarak adlandırılan, %20 ila %40 a-C: H içerikli H filmler; (DLCH) 'deki $sp^3$ C-C yapıştırması (PLCH) filmlerden nispeten yüksektir, bu nedenle daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Bant boşlukları 1 eV ile 2 eV arasında değişmektedir. Genellikle, PECVD) veya ECR veya reaktif püskürtme tarafından biriktirilirler (Durand-Drouhin, Lejeune ve Benlahsen 2002).
3. Tetrahedral a-C:H (ta-C: H) spesifik bir tür hidrojenlenmiş DLC filmidir. C-C $sp^3$ içeriği, sabit bir H içeriğinde yükseltilebilir. Hidrojen içeriği yaklaşık %25–30 iken $sp^3$ C-C bağlanması %70'e ve yoğunluk 2,4 $g/cm^{3'}$ e kadar çıkmaktadır. Optik boşlukları yaklaşık 2,4 eV' da filmler, elektron siklotron dalga rezonansı (ECWR) ve plazma ışını kaynağı (PBS) gibi yüksek yoğunluklu plazma kaynakları ile biriktirilir (Kleinsorge et al. 2001).
4. %10- %20 H içeriğine sahip a-C: H filmler, yüksek bir $sp^2$ bağına ve 1 eV' lik bir bant aralığına sahiptir. Bu filmler grafit benzeri a-C: H (GLCH) olarak bilinir ve magnetron püskürtme veya PECVD tarafından biriktirilebilir (Casiraghi, Ferrari ve Robertson 2005).




Şekil 3.8. Amorf karbon-hidrojen sisteminin üçlü faz diyagramı

### 3.2. Elmas Benzeri Karbon (DLC): Özellikleri ve Uygulamaları

Elmas benzeri karbon (DLC), ilk olarak 1971'de Aisenberg ve Chabot tarafından bir iyon ışını ile biriktirildi. Elektriksel, kimyasal, mekanik ve optik özellikleri elmasla aynıdır. Son on yılda, DLC, malzeme mühendisliği alanında aktif olarak çalışılmaktadır.

1) yüksek sertlik
2) düz yüzey
3) aşınma direnci
4) ısı iletkenliği
5) elektrik yalıtımı
6) alt tabakaya iyi yapışma
7) yüksek kimyasal etkisizliği
8) düşük sürtünme katsayısı

9) şeffaflığı üzerinde uzun dalga boyu bölgesi olarak listelenebilecek olağanüstü özellikleri nedeniyle yüzey kaplamada kullanım alanına sahip olmaktadır.

DLC kaplamalarının özellikleri, $sp^3$ ve $sp^2$ hibritleştirilmiş karbon atomları ve bunların nispi içerikleri arasındaki bağlanma ortamını manipüle ederek uyarlanabilir. DLC' de, mükemmel mekanik özelliklerden sorumlu olan $sp^3$ hibritleştirilmiş karbon (elmas), $sp^2$ karbonuyla (grafit) düzensiz biçimde karıştırılarak elmas benzeri karbon adını haklı çıkarmaktadır.

### 3.2.1 Otomotiv Motoru Uygulamaları

Şekil 3.9'da DLC kaplamalı piston pimine ait görsel bulunmaktadır. Otomotiv endüstrisinde kayar parçalardaki sürtünmeyi ve aşınmayı azaltarak yakıt tüketimini ve $CO_2$ emisyonlarını azaltmak için DLC kaplamalar giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bazı araştırmacıların başlıca hedeflerinden biride motorların hareketli parçaları arasındaki sürtünme kaybının azaltılması olmuştur (Padgurskas ve ark.2013; Ali ve ark.2018; Suryawanshi ve Pattiwar 2018; Zin ve ark.2013; Bi ve ark.2011; Xing, Wang ve Yu 2014). Sürtünme kayıpları sadece sistem verimliliğini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda mekanizmaların ömrünü de azaltır (Ali ve ark. 2016). Amorf karbon formu olan DLC, iyi aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı ve kimyasal etkisizlik nedeniyle mekanizmaların parçalarını kaplamak için en iyi adaylardan biridir (Seker ve ark.2014; Robertson 2002). Bu nedenle, DLC kaplama, piston segmanları, dişliler, rulmanlar, matkaplar vb. gibi ağır koşullar altında çalışan parçalar için büyük önem taşımaktadır (Li ve ark.2005; Enke 1999).



Şekil 3.9. DLC kaplamalı piston pimi

### 3.2.2.Kesici Aletler ve Sabit Disklerde DLC Kaplama

Malzeme üreticileri, geleneksel kaplamalardan çok katmanlı kaplamalara kadar geniş bir kaplama malzemesi seçeneğine sahiptir. Karbon esaslı malzemeler, karbürler ve nitritler, alet imalatında en çok kullanılan kaplama filmleridir. DLC filmlerinin metal olmayan malzemeler ve kompozit malzemeler için mükemmel alet kaplamaları olduğu kanıtlanmıştır.

DLC kaplamanın kesici takımlar üzerindeki asıl sakıncası, filmin kesim işlemi sırasında yapıştırılmasıdır (Folea, Roman ve Lupulescu ,2010).

Elmas benzeri karbon filmler, bilgilerin depolandığı manyetik sabit diskler üzerinde kritik bir koruyucu katman oluşturmaktadır. DLC filmleri manyetik tabakalara aşınma ve korozyon koruması sağlamaktadır. Film kalınlığının azaltılması, korozyon olasılığının düşürülmesi beklenen sertliği de azaltmaktadır.

### 3.2.3.Biyomedikal Uygulamalar

DLC, kardiyovasküler, ortopedik cerrahi ve diş implantları gibi birçok biyomedikal uygulamalarda kullanılan çok yönlü bir biyo materyal olarak kabul edilmektedir. DLC malzemeleri, kardiyovasküler, implante edilebilir cihazlar, özelliklede intravenöz stentlerin kaplanmasında kullanılabilmektedir. Trombositlerin yapışmasını ve aktivasyonunu önleyebilir ve albüminin adsorpsiyonunu teşvik edebilir. Gümüş nano parçacık (Ag NP) katkılı DLC,

antibakteriyel kaplama uygulamaları için etkilidir. Son zamanlarda, Ag: DLC kaplı sentetik ipek dokusunun yapı taşı olarak kullanıldığı yeni bir tip anti bakteriyel bandaj önerilmektedir (Schwarz ve ark. 2011).

DLC / metal nano parçacıkları ayrıca, kanserli hücreleri öldürmek için foton enerjisinin ısıya dönüştürüldüğü foto-termal terapi (PTT) yoluyla kanser tedavisi için umut vericidir (Huang ve El-Sayed 2011). Son birkaç yılda, DLC kaplama oldukça ilginç olan nöron hücreleri için bir büyüme alt tabanı olarak değerlendirilmektedir (Hopper ve ark. 2016).

DLC filmi ortopedik uygulamalarda kullanımında ilgi çekmektedir. Şekil 3.10 DLC kaplamalı kemiğe vidalanan ortopedik vidaya ait görsel bulunmaktadır. Kalça ve diz protezi için metallerdeki DLC kaplamalar tercih edilebilmektedir. Kaplanmamış metallere kıyasla, DLC ile kaplanmış metallerin düşük aşınma oranı ve korozyon sağladığı bulunmuştur. Ayrıca, metalik iyonların vücuda salınmasını azaltmaktadırlar (Tyagi ve Banerjee 2017).



Şekil 3.10. DLC kaplamalı kemiğe vidalanan ortopedik vida

DLC kaplama işlemi sürtünme kuvvetini azaltmada önemli rol oynadığı gibi ortodontik diş hareketi sırasında da dirsek ve tel arasında diş hareketinin etkinliği arttırılabilmektedir (A. Grill, 1999). Şekil 3.11'de görülen metal diş teli DLC kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır.




Şekil 3.11. Metal diş teli

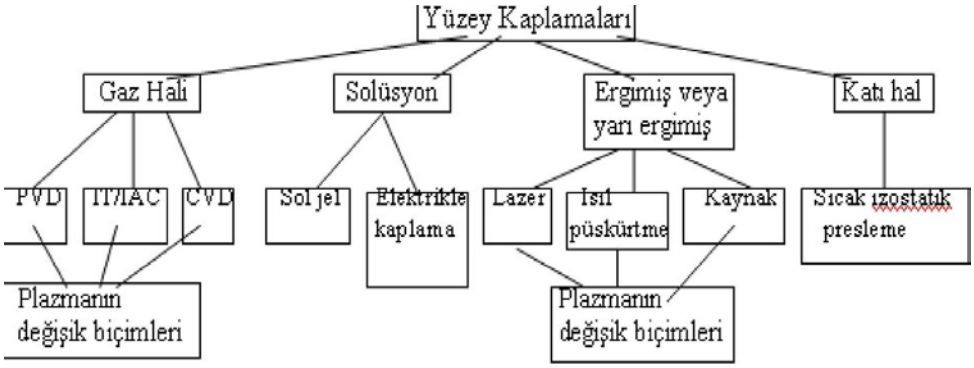
### 3.3. Silisyum Karbür (SiC): Özellikleri ve Uygulamaları

SiC yarıiletken cihaz teknolojisinde önemli bir rol oynamaktadır.1824 yılında Jons Jacob Berzelius, ürettiği örneklerden birinde silisyum ve karbon arasında kimyasal bir bağ olduğunu düşünmüş ve SiC' yi sentezleyen ilk kişiydi (Brezeanu 2005). SiC, ilk kez 1907'de Marconi Şirketi tarafından yarıiletken bir malzeme olarak kullanıldı (Harris 1995). Silisyum karbür, yüksek elastik modül, düşük yoğunluk, yüksek ısı iletkenliği, mükemmel termal şok direnci, üstün sertlik ve korozyon direnci gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikler onu optoelektronik cihazlarda ve sıcaklık sensörleri, fototransistörler güneş pilleri ve ışık yayan diyotlar gibi mikroelektronik uygulamalar için uygun kılmaktadır (Stamate 2001; Schmidt ve ark. 2005).

### 3.4. Method

#### 3.4.1. Karbon Kaplama için Ana İşlemler

Son yıllarda, karbon kaplama yöntemleri önemli ölçüde artmaktadır. Kaplama süreçleri ve biriktirme teknolojileri, geliştirilen film materyallerine ve uygulamalarına ayak uydurmak için hızla değişmektedir. Şekil 3.12, kaplama işlemlerinin sınıflandırılmasını özetlemektedir.




Şekil 3.12 Yüzey kaplama tekniklerinin kullanılan kaplama malzemesinin fiziksel durumuna göre sınıflandırılması.

##### 3.4.1.1. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) Tekniği

Genel olarak, PVD işlemi vakumlu koşullar altında gerçekleştirilmektedir. Hedef malzemenin sıvı veya katı kaynaktan buharlaştırıldığı moleküler/atomistik bir çökeltme tekniğidir. Buharlaşmış parçacıklar, alt tabakaya ulaşmak ve ince filmler üretmek için malzeme yüzeyinde yoğunlaşmaya başlayarak, buhar şeklinde bir düşük basınçlı gaz ya da vakum ortamından geçmektedir. Fiziksel buhar biriktirme tekniği, nanometreden mikrometre boyutuna kadar değişen kalınlıktaki filmleri biriktirmek için kullanılmaktadır. Bu teknik aynı zamanda çok kalın tortular, dereceli bileşim tortuları ve çok katmanlı kaplamalar oluşturmak için de kullanılabilmektedir (Mattox 2010).

### 3.4.1.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) Tekniği

CVD işlemi, katı bir malzemenin gaz halindeki bir fazdan depolanmasını kimyasal bir reaksiyonla gerçekleştirilmektedir. Bir reaktöre uygulanan gaz halinde tepkenler, aşağıdaki türden bir kimyasal tepkimeye yol açan bir alt tabanın ısıtılmış yüzeyinin yakınında veya üzerinde termal olarak aktive edilebilmektedir.

A(g) + B(g) ⟶T/P C + D

A ve B, reaktöre giren gaz halinde tepkenlerdir.

C: Alt taban yüzeyine biriken katı madde

D: Reaktörü terk eden gaz halindeki ürün

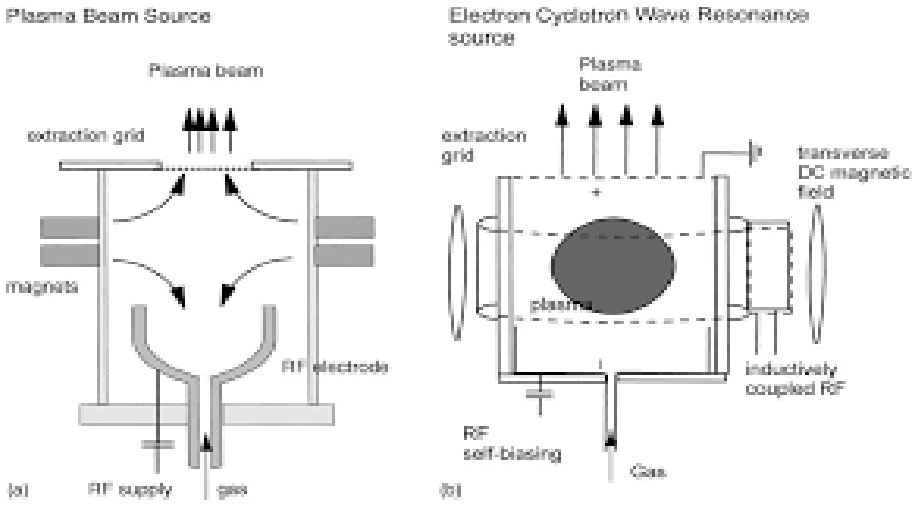
T: Sıcaklık P: Basınç (Reaktör içindeki reaksiyon koşulları)




Şekil 3.13. CVD kaplamalar

CVD işleminin birçok türü vardır; ancak, bu çalışma sadece bunlardan birini ele almaktadır. PECVD, kimyasal reaksiyona ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamanın yanı sıra, kaplamanın düşük bir sıcaklıkta gerçekleşmesine izin vermek için plazma kullanan bir tekniktir. Ayrıca, iyon akımı ve iyon enerjisi ayrı olarak kontrol edilebilmektedir. Diğer yandan, dezavantajlarından biri, filmin düşük

saflığa sahip olmasıdır. Ayrıca, bu teknik genellikle diğer tekniklerden daha pahalıdır ( Jameel,2015).




Şekil 3.14. Plazma ışın kaynağının ve ECWR kaynağının şematik gösterimi (Robertson ,2002)

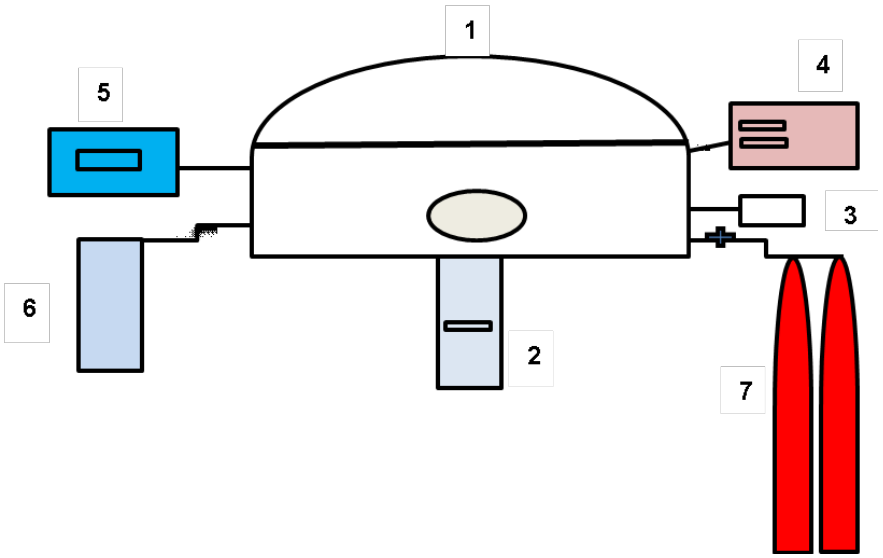
### 3.4.2. ECR Plazma Geliştirilmiş Film Birleştirme Sistemi

Elektron siklotron rezonans plazma kaynağı, atomları veya iyonları kolayca üretebilen ve çok çeşitli yüksek ve ultra yüksek vakum (HV/UHV) uygulamalarında kullanımları bulabilen çok amaçlı bir kaynaktır. Plazma kaynağının performansı, araştırma ve teknolojinin çeşitli alanlarında önemli bir etkiye sahiptir. ECR kaynakları ilk olarak 1960'larda Miller ve arkadaşları tarafından uzay aracı sevkiyatı için bir sistem olarak çalışılmıştır.

Bundan sonra, birçok çalışmada füzyon araştırmalarında ECR kullanılmıştır. Ek olarak, düşük basınçta yüksek plazma yoğunluğu nedeniyle ECR bazlı iyon kaynakları geliştirilmiştir. Hızlandırıcı laboratuvarlarında ECR iyon kaynakları, ağır iyon üretimi için en yaygın iyon kaynakları haline gelmiştir.

Kanser tedavisi, plazma itişmesi ve iyon ışını litografisi gibi tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

### 3.4.2.1. ECR Plazma Kaynaklarının Ana Bileşenleri




Şekil 3.15. ECR-CVD sisteminin şematik bir diyagramı

ECR sistemi aşağıdaki temel bileşenlerden oluşur:

1. Mikrodalga kaynağı
2. Reaksiyon odacığı Turbomoleküler pompa sistemi
3. Atom / İyon Hibrit Kaynağı
4. Gaz akış – basınç kontrol sistemi
5. Turbo moleküler Pompa Sistemi
6. Azot, Oksijen ve Metan Tüpü
7. Soğutma sistemi

**1. Mikrodalga magnetron (Plazma kaynağı)**

Mikrodalga magnetron, mikrodalga alan oluşturmak için manyetik alanın elektron akışıyla etkileşimini kullanan, yüksek güçlü bir vakum tüpüdür.

Şekil 3.22'de gösterildiği gibi, oda içindeki plazma tabancasının yarısı içerde ve diğer yarısı dışarıdadır. Mikrodalga magnetron tarafından 2,45 GHz frekansa sahip mikrodalgalar üretilir. Çıkış iyon ışınının çapı 3 cm'dir.



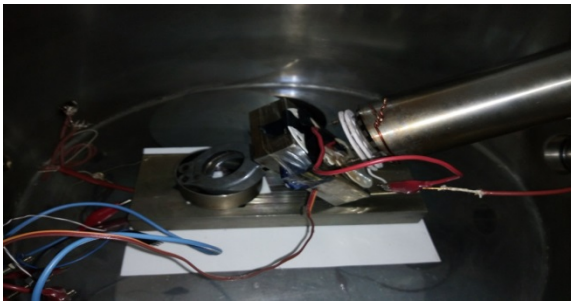
Şekil 3.16. Plazma tabancası

**2. Reaksiyon Odası**





Şekil 3.17. Reaksiyon odası



Şekil 3.18. Vakum odasının içi

Reaksiyon bölmesi silindirik 304 paslanmaz çelikten (28 cm yüksekliğinde, 39 cm çapında) yapılmıştır. İki termal basınç göstergesi vardır, 1 iyonizasyon göstergesi, 1 gözetleme penceresi, 1 valf ve alt tabaka tutucusu bulunmaktadır.

İyon göstergesinin ucuna monte edilmiş bir SRS GW-100F basınç sensörünün yaptığı iş bazen basınç aralığına bağlı olarak basınç kontrol etmektedir. Plazmayı daha rahat gözlemlemek için haznenin içine bir ayna yerleştirilir, hazne penceresinden gözlenebilir. Yeni yerleştirilen tabla düzeneği ile ayna yerleştirmeden de rahatlıkla plazma gözlenmektedir.

**3.Atom / İyon Hibrit Kaynağı**

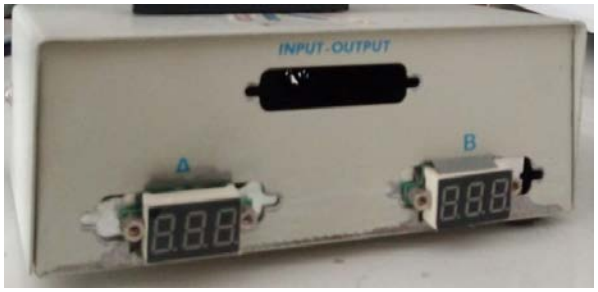



Şekil 3.19. Atom/İyon Hibrit Kaynağı

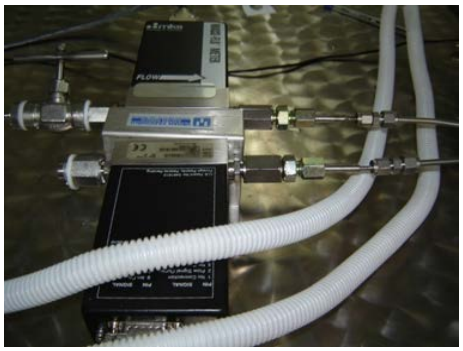
Güç sistemi, akım ve gerilim değerleri, atom / iyon hibrit kaynağı ile ayarlanabilir. “Güç" işaretli kadran ile gücü kontrol eder ve aralık 25-150 Watt’ tır.

Voltaj değerleri orta panel metreden kontrol edilmektedir. İyon akım bitişik panel metreden ayarlanmaktadır. 0-1mA arasında değişebilir. İyon sıcaklığı maksimum değere (2 keV) ayarlandı. Akım ve iyon enerjisinin bağımsız kontrolü mümkün değildir, ancak alt tabakalara bir ön gerilim voltajı uygulandığında elde edilebilmektedir.

**4.Gaz Akış-Basınç Kontrol Sistemi ve Gaz Vanası**




Şekil 3.20. Gaz akış-basınç kontrol sistemi





Şekil 3.21. Gaz Vanası

Gaz akışını kontrol etmek ve ölçmek için dizayn edilen gaz akış kontrol sisteminin ölçüm aralığı 10 sccm’ den 20 sccm’ ye kadar değişmektedir. Bu sistem

oldukça hızlı ve tekrarlanabilir 0,2 sccm hassasiyetle gaz akışını kontrol eder. Bu sisteme uygun bir basınç transformatörü eklenirse basınç kontrolünü de yapabilir. Bu türleri minimum gücü kullanır.

Gaz vanası bir metal contaya tam denk gelen isteğe bağlı düz safir tabanı olan hareketli bir pistona sahiptir. İki yüzey arasında oluşan contada sürtünme, yapışma ve kesilme yoktur. Kaçak oranı kontrolü $10^{-10}$ Torr L/s (minimum) kadardır. Çalışma basıncı atmosfer basıncından $10^{-11}$ Torr 'a kadar değişir. 450 °C' ye kadar dayanabilir (Kurt J. Lesker, 1954). Bu sistem ve hassas gaz vanası sayesinde reaksiyon odacığına giren gaz miktarı ve dolayısıyla reaksiyon odacığının sahip olacağı basınç kolay bir şekilde ayarlanabilmektedir.

**5. Turbo moleküler Pompa Sistemi**



Şekil 3.22. Turbo moleküler Pompa Sistemi

İşlemden önce reaksiyon odası, Varian 301 (350 L / s) turbo pompa ve DS302 (15 $m^3$ / h) döner pompa ile $10^{-7}$ Torr' lık bir baz basınca kadar pompalanır.

Dönme hızı dakikada 56 devirdir (rpm). Pompalama hızı:

8s CF or ISO 160: N 2: 280 1 / s He: 230 1 / s; H2: 210 1 / s (3.1)

6/CF or ISO 100: N 2 = 250 l / s, He = 220 l / s, H2 = 200 l / s (3.2)

Sıkıştırma oranı; N2:> 2x108; H: 1x105; H2: 2x104.(3.3)

Sahip olduğu bu özellikler sayesinde reaksiyon odacığının havası boşaltılıp vakum ortamı oluşturulabilmektedir. Boşaltılma işlemi sonucunda taban basıncı $1x10^{-7}$ Torr 'a kadar düşürülebilmektedir.

**6.Azot, Oksijen ve Metan Tüpü**



Şekil 3.23. Azot, Oksijen ve Metan Tüpü

Metan ($CH_4$) ve Azot tüpünden reaksiyon odacığına metan ve metan- azot gazı gönderilerek hem film üretimi için gerekli basıncı elde edilmektedir hem de karbon bazlı ince film üretmek için ortamda gerekli metan gazı sağlanmış olmaktadır.

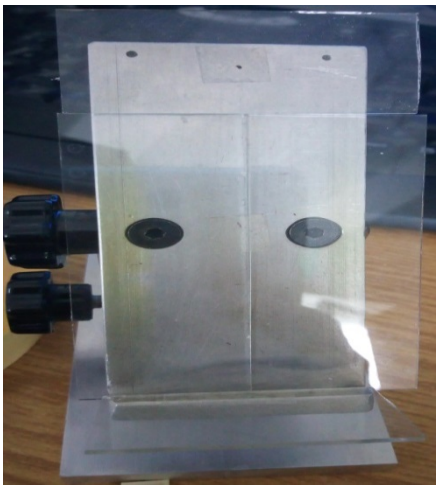
**7.Soğutma sistemi**



Şekil 3.24. Soğutma sistemi

Biriktirme sırasında, soğutma sistemi mikrodalga kaynağının aşırı ısınmasını önlemek için çalışmaktadır. Soğutma işlemi, ECR plazma kaynağında soğutulmuş saf suyun dolaşımı sırasında gerçekleştirmektedir.

**8. Malzeme tutucu**



Şekil 3.25. Malzeme tutucu

Bu mekanizmaya kaplanacak malzeme yerleştirilmektedir.

### 3.4.2.2 ECR Plazma Kaynaklarının Çalışma Prensibi

Mikrodalga fırınlar ve nötr gaz plazma odasında enjekte edildiğinde iyonlaşma başlamaktadır. Haznede bir plazma uyarılmakta ve mikrodalgalar emilmektedir. Sarmal yörüngeler üzerinde hareket eden serbest elektronlar her zaman plazma odasında bulunmaktadır. Harici bir hızla değişen elektrik alanı $E_{ext}$ mikrodalgalar tarafından üretildiğinde, serbest elektronlar, dönme frekansları $\omega_{ce}$ B'nin manyetik alan olduğu mikrodalga frekansına me eşitse enerji kazanabilmektedir.

$$\omega RF\ i.e. \qquad (3.4)$$

$$\omega ce = eBm = \omega RF\ (R.Geller) \quad (3.5)$$

Oluşturulan plazma, yüksek oranda yüklü iyonların üretilmesi için manyetik alanda daha da sınırlandırılmaktadır. İyonlar, plazma bölmesinden ekstraksiyon alanına yüksek voltaj yardımı ile çıkarılmaktadır.

#### 3.4.2.3 ECR Kaynaklarının Avantaj ve Dezavantajları

ECR sisteminin olumlu ve olumsuz yönleri vardır. Bu yöntemi kullanmanın temel avantajları, (1) yüksek kararlılık (2) yüksek iyonlaşma verimliliği (3) yüksek plazma yoğunluğu (4) düşük sıcaklıklarda moleküllerin yüksek derecede ayrışması olarak sıralanmaktadır (Lee et al. 2015). Bununla birlikte, ECR yönteminin özellikle uzun koşullanma süreleri, yavaş biriktirme hızı yüksek güç tüketimi, mıknatıslar, soğutma sistemleri ve mikrodalga bileşenleri için yüksek maliyet ve karmaşık teknoloji gibi bazı dezavantajları olduğunu bilinmektedir.

### 3.5. İnce Filmlerin Karakterizasyonu

İnce film özelliklerinin ölçümü ve incelenmesi için karakterizasyon önemlidir. İnce filmlerin değerlendirilmesinde kimyasal bileşim, kristal yapı, optik özellikler, elektriksel özellikler ve mekanik özellikler dikkate alınmalıdır.

#### 3.5.1. X-ışını Kırınım

X-ışını kırınımı (XRD), esas olarak malzemelerin kristal yapısını tanımlamak için kullanılan bir tekniktir. X-ışınları tarafından üretilen kırınım deseninden kristallerin yapısı hakkında bilgi edinilmektedir. XRD desenleri dalga boylarına ve kristal yapılarına bağlıdır; bir dizi eş merkezli halkadan oluşurlar. Her halka bir kristal düzlem grubundan üretilen kırınımı temsil eder (Kittel 2005). X ışını kırınım desenlerinden, katmanlar (atom sıraları) arasındaki ortalama boşluk,

tek kristal veya taneciklerin yönelimi, bilinmeyen bir malzemenin kristal yapısı, küçük kristal bölgelerin büyüklüğü, şekli ve iç gerilimi belirlenebilir.

Bragg Yasası:

William Lawrence Bragg, kristallerden kopan ışığın hayal gücünü sundu. Olay ışığının, paralel atomik düzlemlerden spesifik olarak yansıdığı varsayılmaktadır. Kırık ışık, atomik düzlemlerden yansıyan kirişlerin yapısal olarak müdahale edildiğinde gözlenir. X ışını kullanılarak saçılma elastiktir çünkü X ışınının enerjisi değişmez. Kristal d boşluğundaki paralel atomik düzlemlerin ayrıldığı varsayılarak, art arda gelen düzlemlerden yansıyan ışınlar için yol farkı 2dsinθ' dır. Yapıcı girişim, yol farkı dalga boyunun λ tam sayısına n eşit olduğunda gerçekleşir, yapıcı girişim koşulu $2d\ sin\ \theta\ =\ n\lambda$ dir. Bragg yasası olarak adlandırılır ve sadece $\lambda\ \leq\ 2d$ ise karşılanabilir (Kittel 2005).

$$2d\ sin\ \theta\ =\ n\lambda \tag{3.6}$$

Speküler yansıma (ayna benzeri yansıma), etki açısının ve yansıma açısının eşit olduğu yansımadır.

### 3.5.2. Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi

Katıların geniş optik özellikleri birkaç genel olguya ayrılabilir. En basitleri yansıma, soğurma ve geçirgenliktir. Optik olayları bir grup parametre ile ölçebiliriz. Her parametre, makroskopik düzeyde optik ortamın bir özelliğini belirler. Yansıma katsayısı olan yansıma ($R$), orta yüzeydeki yansımayı tarif eder. Yansıtılan güç ile olay gücü arasındaki oran soğurma ($A$) olarak tanımlanabilir. İletim, iletilen güç ile olay demetinin gücü arasındaki oran olarak tanımlanan geçirgenlik ($T$) (iletim katsayısı) ile tanımlanmaktadır. Enerji tasarrufu yasasına göre; $R\ +\ T\ +A=\ 1$ eşitliği yazılabilir.

Bu ölçümler, 190- 1100 nm dalga boyuna sahip Perkin-Elmer UV / VIS Lamda 2S spektrofotometresi kullanılarak belirlendi. Dalga boyuna bağlı olarak elde edilen geçirgenlik ve soğurma eğrilerinden, soğurma katsayısı, enerji bandı aralığı, film kalınlığı, Urbach enerjisi, kırılma indisi, osilatör enerjisi, dielektrik sabitleri hesaplanabilir.



Şekil 3.26. Perkin-Elmer UV / VIS Lamda 2S spektrofotometre

### 3.5.2.1. Soğurma Katsayısı Hesabı

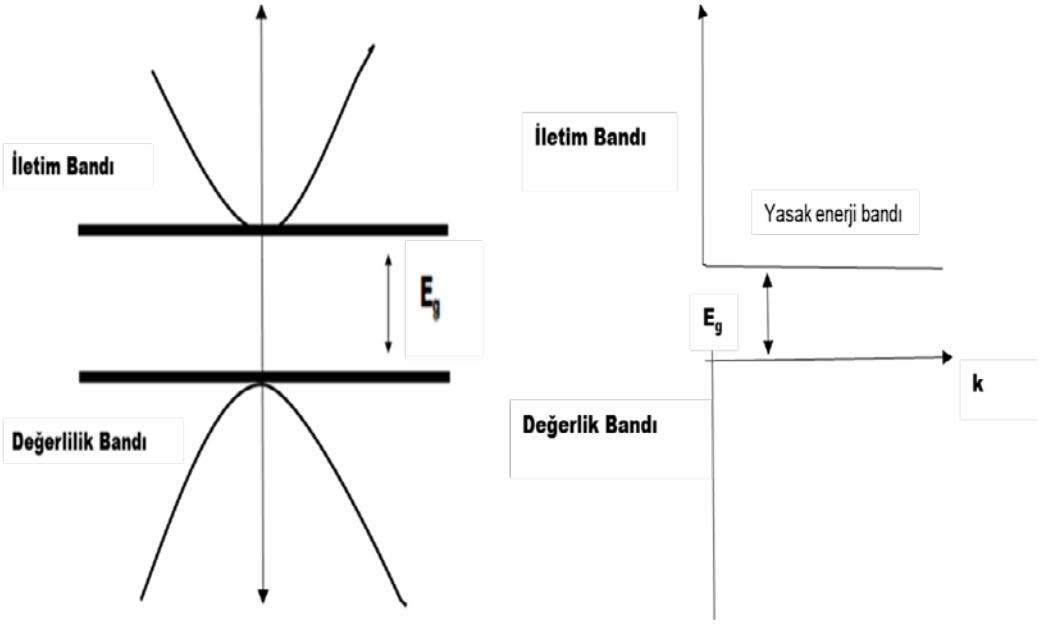
Kalınlığı (x) olan bir malzeme, başlangıç ışığının ilk yoğunluğunun ($I_0$) bir kısmı olan tek renkli bir ışık ışını ile parlatıldığında, geri kalan ışık yansıma, soğurma veya saçılma yoluyla malzeme ile etkileşime girerken, yoğunluğa sahip ortamdan geçer. Optik yoğunluk (OD) veya soğurma (A), bazen optik ortamların soğurmasını da ölçebilir.

### 3.5.2.2 Doğrudan ve Dolaylı Bant Boşlukları

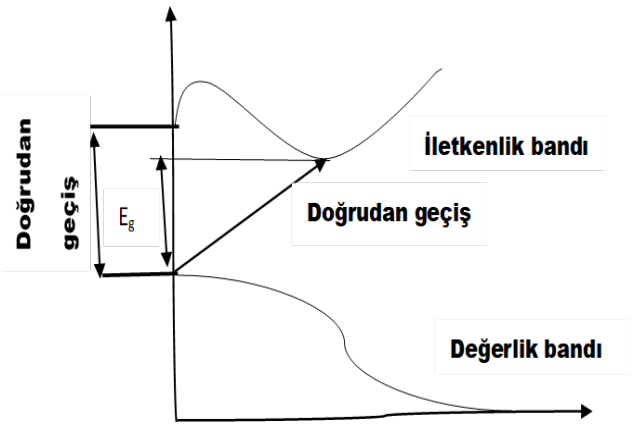
İletim bandının en düşük enerji noktası ile valans bandın en yüksek enerji noktası arasındaki ayrılma bölgesine "bant aralığı" denir.

Bu iki nokta arasındaki enerjideki fark, "enerji bant aralığı" olarak bilinir ve $E_g$ ile sembolize edilir.

İletim bandının en alçak noktası "iletken bant kenarı" olarak bilinir ve değerlik bandının en yüksek noktası "değerlik bant kenarı" olarak bilinir. (Kittel 2005; López, Gómez ve teknoloji 2012). Yarıiletken malzemelerde, iki tür bant aralığı vardır: doğrudan bir bant aralığı ve dolaylı bir bant aralığı. İletim bandının en düşük enerji durumunun ve değerlik bandının en yüksek enerji durumunun her biri belirli bir kristal momentumla ($\vec{k}$ -vektör) tanımlanmaktadır. Her iki durum için ~ k vektörleri aynıysa, bant aralığı "doğrudan bant aralığı" olarak adlandırılır aksi takdirde, "dolaylı bant aralığı" olarak adlandırılır. Başka bir deyişle hem değerlik bandında hem de iletim bandında elektronların ve hollerin momenti aynıysa, bant açıklığına "doğrudan bant aralığı" denir; bu durumda foton elektron tarafından doğrudan yayılabilir. "Dolaylı bant aralığı" olduğunda elektron bir foton yayınlayamaz, çünkü elektron momentum düzleminde farklı bir yönelimdedir.




Şekil 3.27. Bir yarıiletkenin bant yapısı ve bandın şematik gösterimi




Şekil 3.28. Dolaylı ve doğrudan geçiş

### 3.5.2.3. Yasak bant aralığı enerjisinin hesaplanması

Bant aralığı enerjisi (band gap energy), malzemenin optik özelliklerini araştırmak için kullanılır. Yasak bant enerji aralığını (Eg) değerlendirmek ve bu bant aralık enerjisinin doğrudan mı yoksa dolaylı mı olduğunu belirlemek için basit ve yaygın bir yol, soğurma spektroskopisini kullanmaktır. Bir foton enerjisine ($E = h\nu$) karşı soğurma katsayısının (α) belirli bir gücünü çizerek hem bant boşluk enerjisinin hem de bu bant boşluğunun doğrudan olup olmadığı belirlenebilir. Örneğin, bir yarı iletken için bant aralık enerjisi, ilişkiye göre optik soğurma katsayısı α ile ilişkilidir (Kernazhitsky ve ark., 2013).

## 3.6.Analiz Yöntemleri

### 3.6.1. Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopisi karbon yapıların karakterizasyonun da kullanılan bir metottur (Ferrari ve Robertson, 2004). Özellikle DLC yapıların bağ yapısını karakterize etmek için iyi bir yöntemdir. Raman, uyarılma ile örgü titreşiminden kaynaklanan kutuplaşmadaki değişimle saçılan ışıktır (Robertson, 1998). Raman spektroskopisinde tüm karbon yapılar genellikle 800 ile 2000 $cm^{-1}$ arası bölgede bulunurlar. DLC' yi analiz etmede önemli olan düzensiz ve tek kristal grafiti

gösteren D ve G pikleri ise 1560 ve 1360 $cm^{-1}$ de oluşmaktadır. Bir çalışmada radyal solunum moduna (RBM) , genellikle tek duvarlı ve çift duvarlı karbon nanotüplerle görüldüğü ve çok duvarlı karbon nanotüplerde gözlenmediği belirtilmektedir (Seelaboyina ve ark. 2008 ). G pikleri $sp^2$ atomlarının halka ve zincir yapılardaki bağ geriliminden, D pikleri ise $sp^2$ atomlarının radyal solunum modundan kaynaklanır (Ferrari ve Robertson, 2004; Tuinstra ve Koenig, 1970). T pikleri 1060 $cm^{-1}$ bölgesinde olup, C-C $sp^3$ titreşimlerinden kaynaklanan elmas yapıyı temsil etmektedir. Ayrıca elmas pikleri sadece UV uyarılımı altında görülebilirler (Ferrari ve Robertson, 2004; Piscanec ve ark., 2005). Raman da karşılaşılan düzensiz karbon yapılarının karakterizasyonu D ve G piklerinin şiddetleri arasındaki ilişkinin yorumuyla sağlanmaktadır. Kullanılan uyarıcı dalga boyunun D ve G piklerinin yerini değiştirdiği ve piklerin sayımlarını etkilediği bilinmektedir. 632 nm dalga boyundaki uyarma ışını kullanılması daha kısa boylu ışınlara göre D ve G piklerini birbirine yaklaştırmakta ve G pikinin yerini D pikine doğru kaydırmaktadır. D ve G piklerinin genişliği ise düzensizlik arasındaki ilişkinin, Id/Ig oranının ve G pikinin konumunun, tribokimyasal etkileşimleri ve de aşınma, sürtünme gibi özellikleri etkilediği belirtilmektedir (Lewis ve Edwards, 2001).

# 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışmada ECR-MP plazma depolama sistemi ile farklı alt tabanlar üzerine DLC ince filmler üretildi. Üretilen ince filmlerde metan ve metan-azot gazı akısının, iyon enerjisi, süre ve uygulanan ön gerilimin cam, silisyum ve metal alt tabanlardaki yüzey oluşumuna ve kaplanan metalin tribolojik özelliklerine etkisi araştırıldı. Değişik koşullarda üretilen ince filmlerin yapısal, optik, tribolojik ve yüzey topografik özellikleri belirlendi. Plazma; metan ve karbon-azot gazları kullanılarak oluşturulurken, -100, -600 V ön gerilimi uygulandı. Kullanılan bu gazlardan metan (CH4) gaz akışı değiştirilerek DLC formunda karbon film, azot (N2) kullanılarak, azot katkılanmış DLC, çelik alt tabanlar üzerinde biriktirildi. Kaplanmış yüzey sürtünme ve aşınma, yüzey morfolojisi (SEM, AFM), sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve bağ yapısı (Raman spektroskopisi ile) açısından analiz edildi. 1,92 sccm $N_2$ ve 4,67 sccm $CH_4$ akısı altında biriken filmde, aşınma testleri sırasında maksimum sertlik 680,9 (orta bölge), DLC filminin, Raman, SEM ve AFM analizine göre alt-taban üzerine biriktiği ve nano tüp benzeri oluşumlar bulunduğu gözlendi. Çalışmalar, malzeme üzerindeki DLC kaplamanın, nano yapıların oluşumunun yanı sıra tribolojik performansında da önemli gelişmeler sağladığını göstermektedir.

## 4.1. Karbon Esaslı Yarı İletken İnce Film Üretimi

Üretimde ilk aşama, cam alt tabakanın temizlenmesidir. Temiz alt tabanlar, yüzey üzerinde yabancı maddeler bulundurmaz ve böylelikle malzemelerin yüzeye katkısız ve kristal yapısı oluşacak şekilde düzgün birikmesini sağlar, böylelikle düzenli (ordered) nano yapılar yüzeylerde oluşturulabilir. Metal alt tabanların temizlenmesi için yapılan işlemler şunlardır; yüzeydeki kirlilikleri gidermek ve kaplamanın alt-tabana tutunumunu/yapışmasını kolaylaştırmak için ultrasonik seyreltilmiş HCl banyosunda 5 dakika süreyle temizlenip ardından saf su ve metanol ile yıkandıktan sonra basınçlı azot gazı ile kurutuldu. Cam ve silisyum

örnekler ise deterjanlı su banyosunda kir ve artıkları tiftiksiz bir bez kullanarak silindi daha sonra saf metanol de bekletme işleminin ardından azot gazı ile kurutuldu. Alt tabakayı temizledikten sonra, temizlenen alt tabaka örnek tutucusuna yerleştirildi. Ön gerilim uygulanacak yüzeylere taban hızlandırma gerilimini sağlayacak yüzey elektrik bağlantısı gerçekleştirildi. Alt tabanlar tutucu üzerine yerleştirilerek vakum odasına koyuldu.

Vakum pompası, reaksiyon odasındaki vananın kapalı olduğundan emin olunduktan sonra açıldı. Sistem basıncı, basınç göstergesinden izlenerek; ortama metan ve azot ($N_2$) gazı kontrollü bir şekilde verildi. İyon enerjisi, 0,2-1,2 keV civarında değiştirildi. Plazmayı tutuşturmak için plazma gücü yavaş yavaş arttırılırken aynı zamanda iyon enerjisi de arttırıldı. Plazma oluşturulup iyon akışı gerçekleştikten sonra sistem dengeye ulaşması için yaklaşık 5-10 dakika beklendi. Dengeye ulaşmış sistemde; biriktirme işlemi tamamlandığında, sistem kapatıldı.

### 4.1.1. Karbon İnce Filmlerin Üretim Koşulları

Hazırlanan karbon ince filmlerin üretim koşulları sırasıyla Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5'de gösterildi.

Çizelge 4.1'de verilen üretim şartları incelendiğinde cam tabanlar için taban basınç $3,4x10^{-3}$ Torr değerlerinde olduğu görülmektedir. İyon enerjisi 0,3-0,4kV değerlerinde oluştu. Kaplama süresi 60 dakikadadır. Güç 15-25mA (45-75W) aralığında seçildi. OC8 ve OC12 örnekleri incelendiğinde plazma enerjisinin en yüksek 25mA (75W) ve taban basıncının $3,4x10^{-3}$ Torr ve $CH_4$ gaz akışının 5,0-5,2 sccm (standart cubic centimeters per minute) olduğu görülmektedir. Düşük basınçta yüksek enerji uygulandığında daha iyi/fazla iyonizasyonun gerçekleştiği ve yüzeyde karbon yapıların daha kristalize olduğu görülmektedir. Bu iki örneğin depolama süresi farklıdır ve kalınlık olarak OC12 daha kalın kaplamadır. OC2 ve OC5 örnekleri incelendiğinde sadece taban basınçları farklıdır, OC5 in yüzey yapısı ve kristalize özellikleri daha iyidir bunun nedeni daha düşük basınç altında üretilmiş olmasıdır.

Cam örneklerle birlikte aynı anda metal veya silisyum plaka tabanlı örnekler üretildiğinden yapısal özellikler birlikte karşılaştırmalı olarak incelenebildi.

Çizelge 4.1. Cam alt tabanlar üzerine farklı akılardaki metan gazı kullanılarak farklı iyon enerjisi ve sürelerde üretilen DLC ve ince filmlerin üretim koşulları

| Örnek Adı | Basınç (Torr) $\times 10^{-3}$ | $CH_4$ (Sccm) | Güç (mA) | İyon Enerjisi (kV) | Süre (dk) |
|---|---|---|---|---|---|
| OC1 | 4,0 | 6,16 | 20 | 1,0 | 60 |
| OC2 | 4,0 | 6,45 | 20 | 0,3 | 60 |
| OC5 | 3,5 | 6,36 | 20 | 0,4 | 60 |
| OC8 | 3,4 | 5,01 | 25 | 0,3 | 15 |
| OC9 | 3,4 | 4,95 | 20 | 0,4 | 30 |
| OC10 | 3,4 | 6,45 | 15 | 0,4 | 30 |
| OC11 | 3,5 | 5,16 | 15 | 0,4 | 45 |
| OC12 | 3,4 | 5,30 | 25 | 0,4 | 30 |
| OC17 | 4,0 | 8,76 | 20 | 0,3 | 30 |

Çizelge 4.2 incelendiğinde OM3, OM4 VE OM6 örneklerinde azotla katkılama yapıldığı görülmektedir ve daha önceki çalışmalarda azot katkılamanın kaplamanın tribolojik, optik ve yapısal özelliklerine; karbon- hidrojen oranları ve DLC özelliklerine etkileri gözlemlendi (Şeker ve ark.2014). Bu çalışmada da azot katkılanmış ve katkılanmamış kaplamaların yapısal özelliklerinin farklılıkları incelendi, OM3'de ki nano duvarlar OM2 ve cam örneklerde ki yapılara kısmen benzese de azot katkısından dolayı burada ki yapının değişikliğe uğradığı görülmektedir. Ayrıca $N_2$ katkılama oranının etkisi de incelendi. OM2 ve OM5 incelendiğinde sistem reaksiyon odacığı denge basıncı dışında diğer parametreler çok yakındır ve OM5'in, OM2'ye göre yapısal özellikleri daha iyidir. OM4 Raman

analiz ve SEM görüntüsünde çoklu karbon nano-tüp (MWCNT) görülmektedir (By Khurram S., 2015).

Çizelge 4.2. Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin üretim koşulları

| Mikrodalga Güç = 70 W; Sıcaklık = 25°C; Ön-gerilim voltage = -600 V | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Örnek adı | Sistem Basıncı (Torr) $\times 10^{-3}$ | Süre (dk) | Akış Hızı(sccm) | | Akı Oranı |
| | | | $N_2$ | $CH_4$ | $N_2$ / $CH_4$ |
| OM2 | 4 | 60 | - | 6,45 | - |
| OM3 | 3,5 | 60 | 0,72 | 5,18 | 0,139 |
| OM4 | 3,5 | 60 | 2,88 | 5,07 | 0,568 |
| OM5 | 3,5 | 60 | - | 6,36 | - |
| OM6 | 4,0 | 60 | 2,34 | 6,27 | 0,373 |
| OM7 | 3,5 | 45 | - | 6,51 | - |
| OM11 | 3,5 | 45 | - | 5,06 | - |

Çizelge 4.3 de diş teli üzerine biyo uyumlu karbon yapılar kaplandı. Kaplama süresi farklıdır ve tabana ön-gerilim uygulandı. Taban ön gerilim voltajı uygulanarak kaplamanın yüzey tutunumu arttırıldı.

Çizelge 4.3. Titanyum (diş teli) alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin üretim koşulları

| Mikrodalga Güç= 70 W; Sıcaklık = 25°C; Ön gerilim voltaj = -600 V | | | |
|---|---|---|---|
| Örnek Adı | Oda Basıncı (Torr) $\times 10^{-3}$ | Akış Hızı (sccm) | |
| | | Süre | $CH_4$ |
| Diş teli1 | 3,8 | 30 dk | 6,45 |
| Diş teli2 | 3,8 | 60 dk. | 5,18 |

Çizelge 4.4 de taban yüzeyi silisyum plaka yüzey seçildi. Mükemmele yakın pürüzsüzlükte olan silisyum yüzeye nano yapıların düzenli (ordered) olarak oluştuğu ve nano yapıların karakteristiğinin taban pürüzlülüğünün olumsuz etkilerinden arınmış olan yüzeyde tüm DLC ve nano yapılar; nano-çiçek nano-tel, nano-nokta (point), nano-mikro kristalcikler gözlendi.

Çizelge 4.4. Silisyum alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin üretim koşulları

| Mikrodalga Güç= 70 W; Sıcaklık = 25°C; Ön-gerilim voltaj = -600 V; süre:60 dk | | | |
|---|---|---|---|
| Örnek Adı | İyon Enerjisi(kV) | Oda Basıncı (Torr)×$10^{-3}$ | Gaz Akış Hızı (sccm) |
| OSi 1 | 1,0 | 4,0 | 6,16 (Ön gerilim var) |
| OSi 2 | 0,4 | 3,5 | 6,30 |
| OSi 3 | 0,7 | 3,3 | 6,05 (Ön gerilim var) |
| Osi 4 | 0,7 | 3,3 | 6,05 |
| OSi5 | 0,5 | 3,2 | 6,11 |
| OSi6 | 0,5 | 3,2 | 6,11 (Ön gerilim var) |

Çizelge 4.5.Alüminyum alt tabanlardaki DLC ince filmlerin üretim koşulları

| Mikrodalga Güç= 70 W; Tavlama Sıcaklık = 300°C; Ön-gerilim voltaj = -600 V | | | |
|---|---|---|---|
| Örnek Adı | Oda Basıncı (Torr) ×$10^{-3}$ | Gaz Akış Hızı (sccm) | |
| | | Süre | $CH_4$ |
| Al 1(asitsiz) | 4,4 | 60 dk | 6,68 |
| Al2 (asitli) | 4,4 | 60 dk | 6,68 |

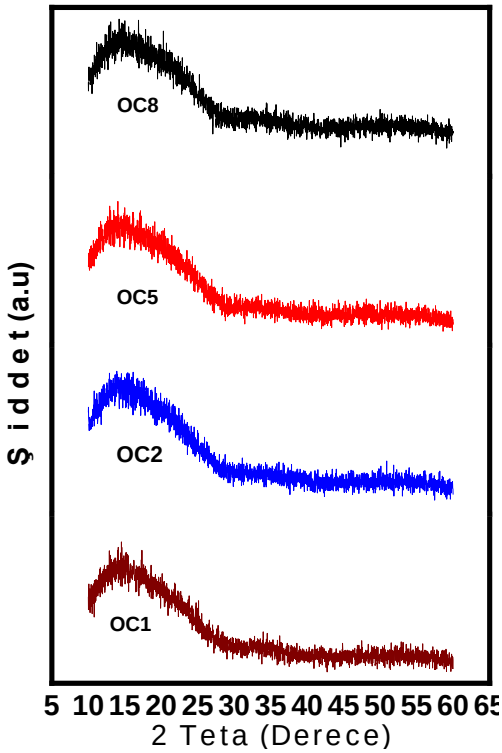
Çizelge 4.5'te Alüminyum taban malzeme üzerine kaplama yapıldı. Burada kaplama sonrası tavlamanın kaplama karakteristiğine etkisi incelendi. OM2 ile Al1

benzer parametrelerde kaplanarak kaplama karakteristiği incelendi. Asit ile aşındırılmış ve aşındırılmamış örneklerde yüzey tutunumu ve tribolojisi incelendi.

## 4.2. ECR Yöntemi İle Elde Edilen DLC İnce Filmlerin X-Işını Çalışmaları

### 4.2.1 Cam Alt Tabanların XRD Sonuçları

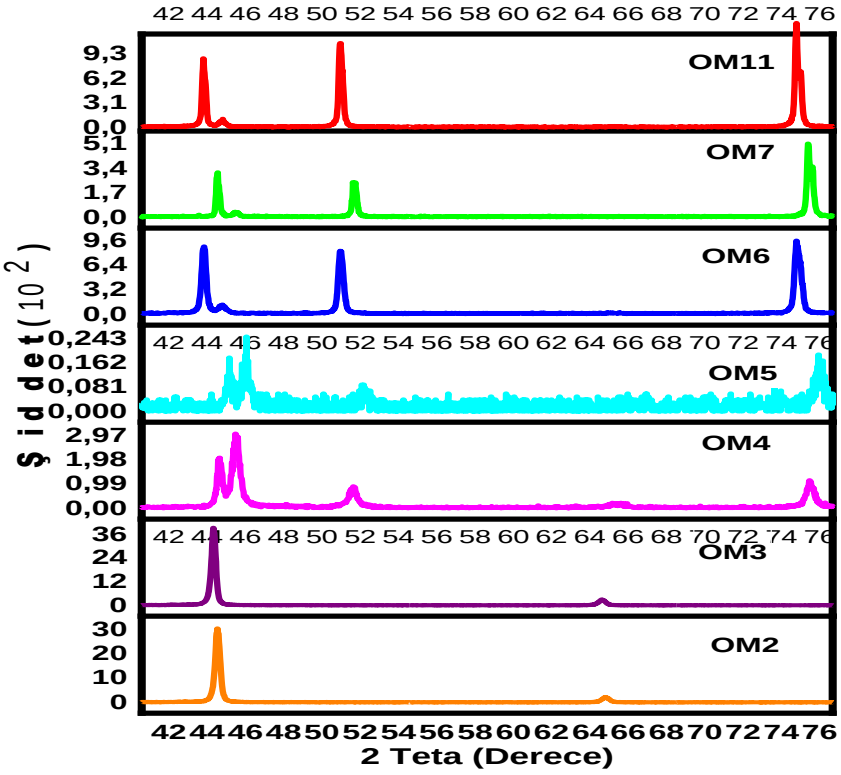
Cam alt-taban üzerine depolanan karbon ince filmlerin kristal özellikleri, X-ışını kırınım desenleri XRD ölçüm sistemi kullanılarak yapıldı. Cam alt tabanlar üzerine depolanan filmin X-ışını kırınım deseni Şekil 4.1'de de görüldüğü üzere hidrojenize tetragonal amorf karbon olduğu anlaşıldı. Ayrıca DLC filmlerin amorf yapıları $sp^3$ ağı içine işlemiş durumda bulunan $sp^2$ öbeklerinin birbirlerine bağlanmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Robertson J., 1986.)




Şekil 4.1. Cam alt tabanlar üzerine depolanan karbon ince filmlerin XRD desenleri

### 4.2.2 Paslanmaz Çelik Alt Tabanların XRD Sonuçları

Şekil 4.2' ye bakıldığında paslanmaz çelik alt tabanlar OM2-OM3, OM4-OM5 ve OM6-OM7-OM11'in aynı alaşımdan oluştuğu görülmektedir. OM6-OM7-OM11 kıyaslandığında azot katkılandığında (OM6) piklerin sola kaydığı ve pik şiddetinin arttığı gözlenmektedir. OM3' de azot katkılandığından OM2'ye göre 2Ɵ açısının sola kaydı ve pik şiddetinin de arttığı gözlendi. OM4 örneğinin 2Ɵ açı değeri OM5 örneğine göre sola kaydı ve pik şiddetinin arttığı gözlendi.




Şekil 4.2. Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamaya ait XRD grafiği

Şekil 4.2'de XRD grafiğine bakılırsa şiddet büyüklüğüne göre iyi kristalize sıralaması yapılırsa OM3, OM2, OM6, OM11, OM7, OM4, OM5 şeklindedir. 2θ

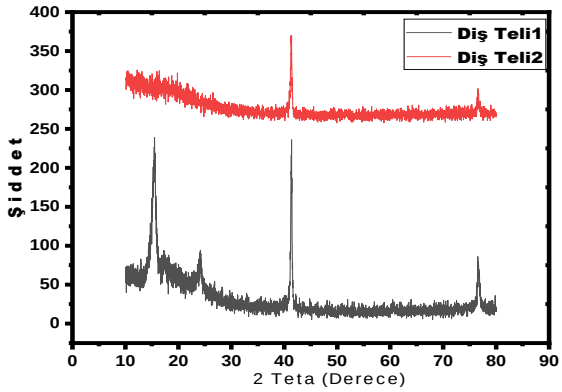
açı değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. XRD cihazı kütüphanesinde kaplanmamış paslanmaz çelik alaşımına ait 2θ açı değerleri 37,44 (100), 40,34 (002), 42,72 (101), 56,21 (102), 67,53 (110), 74,95 (103), 79,87 (200), 81,67 (112), 83,30 (201) şeklindedir (ICCD: 00-018-0388). Bu verilere bakılırsa çelik alt tabana ait 2θ değerleri $N_2$ ve $CH_4$ depolaması ile kaymaya uğramıştır.

Çizelge 4.6. Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon kaplamaya ait XRD değerleri

| Örnek Adı | 2-theta(deg) | d (A) | Int. I(cps deg) | FWHM( deg) | Size (D) |
|---|---|---|---|---|---|
| OM2 | 22,82(11) | 3,893(18) | 13,3(13) | 1,32(10) | 64(5) |
| | 44,894(5) | 2,0173(2) | 729(4) | 0,292(3) | 307(3) |
| | 65,002(9) | 1,43358(18 | 103,4(14) | 0,501(1 | 196(5) |
| OM3 | 44,527(4) | 2,03310(19 | 651(4) | 0,281(3) | 319(3) |
| | 64,82(2) | 1,4372(4) | 60,3(12) | 0,407(1 | 242(9) |
| OM4 | 44,321(5) | 2,0421(2) | 760(4) | 0,242(3) | 370(5) |
| | 64,640(15) | 1,4407(3) | 79,8(12) | 0,360(1 | 273(9) |
| OM5 | 23,63(15) | 3,76(2) | 4,6(6) | 1,25(13) | 68(7) |
| | 44,636(14) | 2,0284(6) | 45,8(12) | 0,304(1 | 295(13) |
| | 45,506(14) | 1,9916(6) | 91,0(15) | 0,420(1 | 214(8) |
| | 51,70(2) | 1,7665(8) | 28,0(9) | 0,53(4) | 173(13) |
| | 65,40(9) | 1,4257(18) | 7,2(6) | 0,95(7) | 103(8) |
| | 75,47(3) | 1,2585(4) | 35,1(8) | 0,40(3) | 262(21) |
| OM6 | 45,14(6) | 2,007(2) | 2,1(2) | 0,36(5) | 250(33) |
| | 46,01(5) | 1,971(2) | 3,8(3) | 0,48(5) | 187(18) |
| | 76,02(8) | 1,2509(11) | 4,0(3) | 0,47(6) | 225(31) |
| OM7 | 44,531(6) | 2,0330(2) | 40,7(7) | 0,140(6) | 641(29) |
| | 45,54(5) | 1,990(2) | 6,1(6) | 0,33(4) | 277(34) |
| | 51,620(5) | 1,76917(17 | 41,9(9) | 0,156(7) | 592(28) |
| | 75,405(5) | 1,25954(7) | 100,6(12) | 0,168(5) | 625(18) |
| OM11 | 43,798(4) | 2,06527(17 | 123,1(13) | 0,141(4) | 633(20) |
| | 44,73(3) | 2,0242(12) | 17,0(8) | 0,35(2) | 259(18) |
| | 50,944(4) | 1,79105(12 | 178,4(17) | 0,160(4) | 573(15) |
| | 74,788(4) | 1,26838(5) | 233(2) | 0,166(3) | 628(12) |

### 4.2.3 Titanyum Alt Tabanlara Ait XRD Sonuçları

Şekil 4.3'de Titanyum Diş Teli DLC Kaplama ya ait XRD grafiği görülmektedir. Çizelge 4.7'de 2θ = 15,38, 16,4, 23,95, 41,31, 76,55, 41,23 değerlerindedir. Literatürde TİO in XRD değerleri 2θ; 25,65 (101), 41,37(200), 75,59(202) şeklindedir. (ICDD: 00-002-0406, ICDD:00-002-0514). Literatür verileri ile kıyaslandığında 2θ; 25 ve üstü alt-tabana ait pik olduğu ve karbon depolamasından kaynaklı piklerin yerinde kayma gözlenmektedir. 2θ değeri 25° nin altında olan pikler 22,5 nano duvar piki gibi yüzey yapısına ait olmaktadır. Diş teli1'de bunlar gözlenirken diş tel 2'de yalnız 41.23 piki gözlenmektedir. Bu da yüzey yapısının farklı olduğu sonucunu göstermektedir.



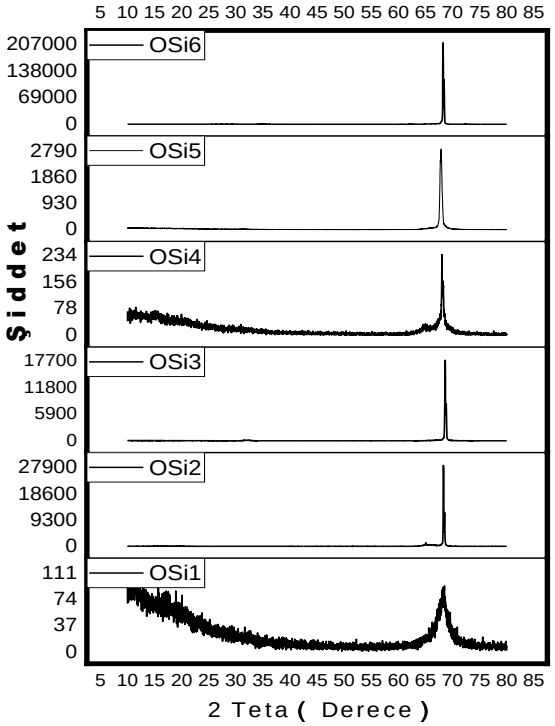

Şekil 4.3. Titanyum (diş teli) alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın XRD grafiği

Çizelge 4.7. Titanyum (diş teli) alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon kaplamanın XRD analiz tablosu

| Örnek adı | 2-theta(deg) | d (A) | Int. I (cps deg) | FWHM(deg) | Size (D) |
|---|---|---|---|---|---|
| Diş Teli 1 | 15,38(2) | 5,758 | 95(7) | 0,69(5) | 121(9) |
| | 16,4(4) | 5,421 | 84(8) | 4,5(4) | 18,5(15) |
| | 23,95(5) | 3,713 | 32(3) | 1,06(8) | 80(6) |
| | 41,31(2) | 2,183 | 45,3(11) | 0,25(2) | 357(33) |
| | 76,55(3) | 1,243 | 18,6(9) | 0,34(3) | 314(31) |
| Diş Teli 2 | 41,23(2) | 2,187 | 21(3) | 0,26(3) | 346(43) |

### 4.2.4 Silisyum Alt Tabanlar Üzerine Depolanmış Karbon Filmlere Ait XRD Sonuçları

Şekil 4.4' te gösterilen silisyum alt tabanlardaki kaplamaya ait XRD deseni incelendiğinde 2θ=22,5, 33, 65,6, 68,2, 69,1, değerlerinde pikler gözlenmektedir. Üç örnekte de 2θ=33 ve 69,1 de gözlenen pikler sırasıyla (200) ve (100) silisyum alt tabana ait piklerdir (Zhang ve ark., 2006; Kayani ve ark., 2009). Örnek OSi1 de 2θ=22,5 piki nano duvar pikine aittir (de Moura ve ark.2012; Hong Ni ve ark. 2012). Tablo4.1'de X-ışını kırınım desenlerinin incelenmesiyle elde edilen değerler ve film özellikleri görülmektedir. Çizelge4.8'de tüm karbon kaplanmış silisyum örneklere ait XRD analiz sonuçları detaylı şekilde verilmektedir.2θ=69'da ki pik silisyum alt tabandan kaynaklanmaktadır

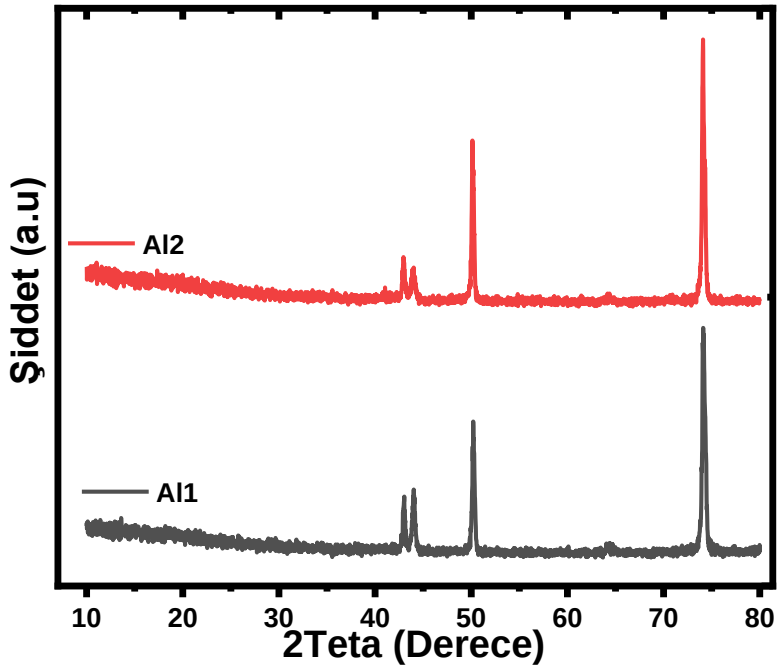



Şekil 4.4. Silisyum alt tabanlar üzerine depolanan karbon filmlere ait XRD grafiği

Çizelge 4.8. Silisyum alt tabanlar üzerine depolanan karbon filmlerin XRD analiz tablosu

| Örnek adı | 2θ(deg) | d(A) | Int. I (cps deg) | FWHM (deg) | Size (D) |
|---|---|---|---|---|---|
| OSi 1 | 68.30(6) | 1.37(11) | 153(6) | 2.20(11) | 46(2) |
| OSi 2 | 59.2(3) | 1.56(8) | 13(2) | 2.3(3) | 41(6) |
| | 60.88(5) | 1.52(11) | 2.9(8) | 0.15(4) | 644(186) |
| | 65.08(9) | 1.43(18) | 75(4) | 0.17(10) | 593(36) |
| | 65.28(5) | 1.43(10) | 633(12) | 2.89(9) | 34.0(10) |
| | 65.61(5) | 1.42(9) | 14(4) | 0.20(5) | 497(132) |
| | 68.15(2) | 1.37(4) | 220(7) | 0.38(11) | 266(8) |
| | 68.33(7) | 1.37(13) | 2640(15) | 0.11(5) | 882(4) |
| | 68.65(5) | 1.37(29) | 156(7) | 0.15(6) | 676(25) |
| | 69.01(2) | 1.36(4) | 18(2) | 0.17(3) | 600(93) |
| | 69.36(8) | 1.35(14) | 7(2) | 0.25(9) | 397(139) |
| OSi 3 | 32.08(3) | 2.79(3) | 95.1(17) | 1.50(2) | 57.5(9) |
| | 68.63(11) | 1.37(19) | 2380(13) | 0.14(10) | 709(5) |
| | 68.98(11) | 1.36(19) | 80(6) | 0.18(16) | 566(52) |
| | 69.36(5) | 1.35(8) | 14(2) | 0.41(8) | 248(50) |
| OSi 4 | 68.04(4) | 1.38(7) | 20(3) | 0.06(8) | 1569(195) |
| | 68.32(3) | 1.37(6) | 44(11) | 0.57(15) | 176(46) |
| OSi5 | 31.59(7) | 2.83(6) | 9.1(11) | 1.10(12) | 78(9) |
| | 67.77(9) | 1.38(17) | 890(8) | 890(8) | 308(8) |
| OSi6 | 31.33(3) | 2.852(3) | 43(10) | 0.76(4) | 114(6) |
| | 32.04(17) | 2.7911(15) | 141(10) | 0.87(8) | 100(9) |
| | 60.80(2) | 1.5223(6) | 9.4(9) | 0.16(3) | 613(128) |
| | 65.05(12) | 1.4326(2) | 193(8) | 0.299(14) | 329(16) |
| | 65.40(4) | 1.4257(7) | 330(89) | 0.78(19) | 126(31) |
| | 66.62(12) | 1.403(2) | 1316(100) | 2.18(7) | 45.5(15) |
| | 67.91(6) | 1.37918(11) | 867(28) | 0.205(8) | 488(19) |
| | 68.23(4) | 1.373329(8) | 23854(77) | 0.1134(3) | 884(3) |
| | 68.42(3) | 1.37000(5) | 692(37) | 0.128(9) | 781(53) |
| | 68.58(11) | 1.3673(2) | 54(15) | 0.039(8) | 2552(506) |
| | 68.81(11) | 1.36291(19) | 74(20) | 0.13(3) | 788(210) |
| | 68.98(3) | 1.3603(5) | 17(18) | 0.08(5) | 1246(786) |
| | 69.24(5) | 1.3558(9) | 28(5) | 0.25(6) | 405(102) |

### 4.2.5 Alüminyum Alt Tabanlara Ait XRD Sonuçlar




Şekil 4.5. Alüminyum alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın XRD grafiği

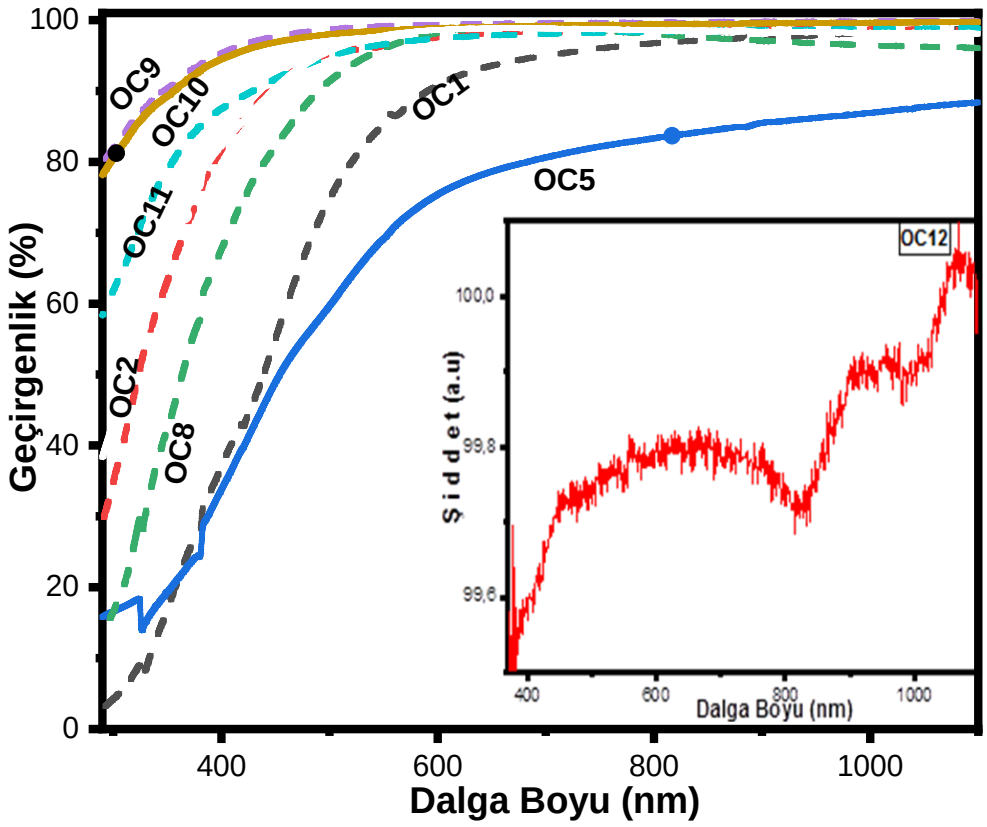
Şekil 4.5'de alüminyum alt tabanlara depolanmış karbon filmlerin XRD grafiğine bakılırsa asitle aşındırılmışa ait piklerin hafif sağa kaydığı ve bileşik oluşturduktan sonra aynı pikin 2θ değerinin daha büyük açılara kaydığını görülmektedir. Kaplamasız alüminyumdan alınan XRD verilerine göre 2θ değerleri 43,70, 49,91, 73,889 şeklindedir. Çizelge 4.9'da ki verilerle kıyaslandığı zaman 43,96, 43,95, 50,208, 50,121, 74,125, 74,095 pikleri alt tabana ait piklerdir. Diğer piklerde karbon kaplamadan kaynaklı piklerdir. Al2 örneği asitle aşındırıldığı için karbonun daha iyi tutunması sonucu Al1'den farklı olarak 64,10 piki oluşmamıştır.

Çizelge 4.9. Silisyum alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve Amorf Karbon Kaplamanın XRD analiz tablosu

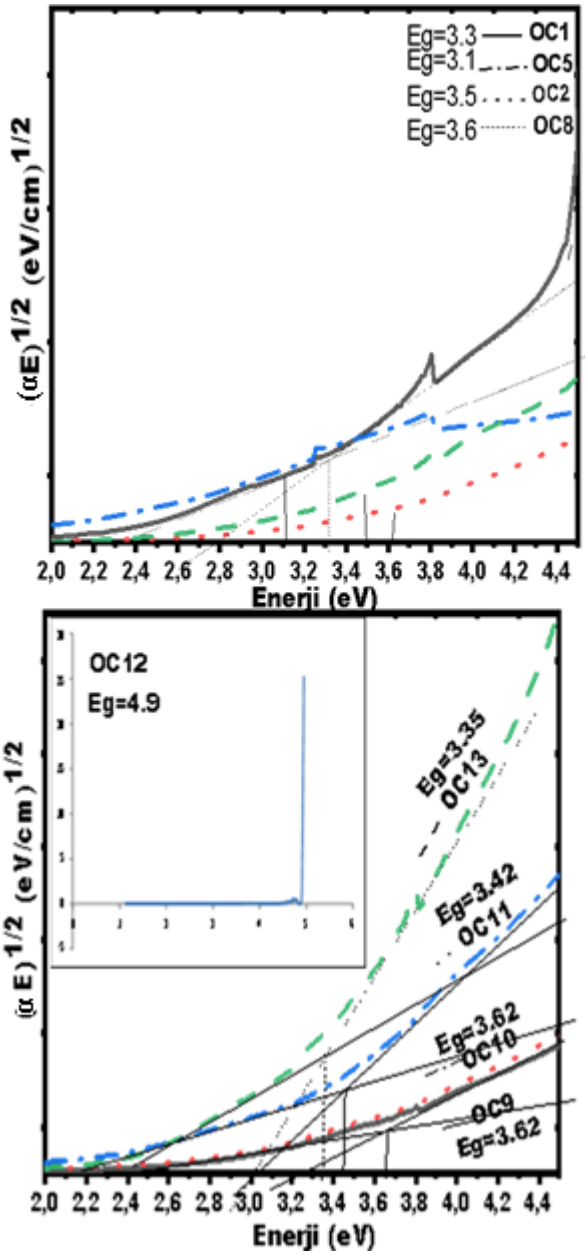
| Örnek adı | 2-theta(deg) | d (A) | FWHM (deg) | Size |
|---|---|---|---|---|
| Al1 | 42,98(2) | 2,1025(11) | 0,21(2) | 430(49) |
| | 43,96(2) | 2,0579(11) | 0,32(2) | 279(21) |
| | 50,208(14) | 1,8156(5) | 0,246(11) | 373(17) |
| | 64,10(13) | 1,452(3) | 0,81(11) | 122(16) |
| | 74,125(8) | 1,27808(11) | 0,245(9) | 424(15) |
| AL2 | 42,91(2) | 2,1061(10) | 0,26(2) | 345(31) |
| | 43,95(4) | 2,0586(16) | 0,50(4) | 179(13) |
| | 50,121(8) | 1,8185(3) | 0,187(10) | 491(27) |
| | 74,095(5) | 1,27853(8) | 0,202(6) | 515(15) |

### 4.3.Farklı Alt Tabanlara Depolanan DLC İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi

Şekil 4.6'da cam alt tabanlar üzerinde üretilen filmlerin görünür bölgede %90'ın üzerinde geçirgenlikte olduğu görülmektedir. Filmlerin, soğurma bölgesindeki, α (hυ)' nın (hυ) foton enerjisine karşı grafiği Şekil 4.6'da ve $(\alpha h\upsilon)^2$' nin foton enerjisine (hυ) karşı grafiği de Şekil 4.7'de verilmektedir. Şekil 4.7'teki grafikten x eksenini kestiği nokta belirlenerek yasak enerji bant aralığı bulunmaktadır. Çizelge 4.6'da $E_g$ değerleri belirtilmiştir. $E_g$ değerleri 5 eV' a yakın ve geçirgenliği yüksek olanlar ; elmasa en yakın olanlardır. Bunlar OC12 (Eg = 4,9),OC10-OC9 (Eg = 3,62 ) 'dir. OC12 en ince filmdir nedeni geçirgenliği tüm spektrum boyunca %100 den %99,6 düşmüştür. OC1 hem kalın hem kristalizedir. Film depolama süresi ve gaz akış oranı arttıkça film kalınlığı artmakta ve geçirgenlik eğrileri azalmaktadır; bu OC5 ve OC1 örneklerininin transmisyon optik spekrumunda görülmektedir




Şekil 4.6 Cam alt tabanlar üzerine depolanan farklı metan gaz akış oranları ile üretilen DLC ve amorf karbon ince filmlerin optik geçirgenlik eğrileri




Şekil 4.7. Farklı metan gaz akış oranlarında üretilen DLC ve amorf karbon ince filmlerin $(\alpha h\upsilon)^{1/2}$-E grafikleri

Cam filmlerin geçirgenliğin dalga boyuna karşı eğrisi ve $(\alpha h\nu)^{1/2}$-E(eV)' ye karşılık grafikleri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verildi. Bu filmlerin yasak enerji bant aralığı hesaplamaları ve bant kenarı keskinlikleri çizelge 4.10'de listelendi. Tablonun incelenmesinden bant kenarı keskinliğinin yasak enerji aralığına sıkı bağlı olduğu görülmektedir. Sentezlenen örnekler içerisinde tetrahedral bağlı amorf yapı, grafit yapı ve elmas özellikli yapı birlikte görülebilmektedir. Yasak enerji aralığı ne kadar büyükse (5-6 eV civarı) filmin kristalografik özelliğinin DLC yapıya yakın olduğu söylenebilir. Daha öncede belirtildiği gibi yasak enerji aralığı ne kadar büyükse filmin kristalografik özelliğinin DLC yapıya yakın olduğu anlaşılmaktadır. Film kalınlığı arttıkça yasak enerji aralık değerinin azaldığı görüldü.

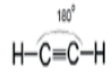
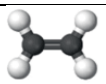
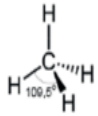
Çizelge 4.10. Farklı $CH_4$ gaz akış oranlarında depolanan DLC ve amorf karbon İnce filmlerin optik özellikleri

| **Film Adı** | **$CH_4$ Gaz Akış Oranı (sccm)** | **Enerji Bant Aralığı (eV)** |
|---|---|---|
| OC1 | 6,16 | 3,3 |
| OC2 | 6,45 | 3,5 |
| OC5 | 6,36 | 3,1 |
| OC8 | 5,01 | 3,6 |
| OC9 | 4,95 | 3,62 |
| OC10 | 6,45 | 3,62 |
| OC11 | 5,07 | 3,42 |
| OC12 | 5,30 | 4,9 |

### 4.4. DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Yapısal Özellikleri

725 nm Ar-ion lazer uyarısıyla (20 mW güçte) 1000-2000 $cm^{-1}$ dalga sayısı kayması ile çalışan Raman spektroskopisi (Renishaw) kaplamanın bağ yapısı analizi için kullanıldı.

Çizelge 4.11. Karbonun sp, $sp^2$, $sp^3$ bağ yapısını gösteren tablo

| Lewis Formülü | Merkez atomdaki | | | | Merkez atomun hibritleşme tipi | Top–çubuk formülü |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Doğrultu sayısı | Bağlayıcı elektron çiftleri | Bağlayıcı olmayan elektron çiftleri | Toplam | | |
|  | 2 | 2 | 0 | 2 | sp |  |
|  | 3 | 3 | 0 | 3 | $sp^2$ |  |
|  | 4 | 4 | 0 | 4 | $sp^3$ |  |

DLC filmindeki karbon atomlarının yapısal olarak dizilimi ve tribolojik davranışları $sp^3$- $sp^2$ bağlarının oranına bağlıdır (Jatti ve ark. 2014). Bu bağların yapısal karakterizasyonunu belirlemek için Raman spektroskopisi analizleri yapıldı. DLC filmlerinin Raman spektrumları, D zirvelerinin (elmas benzeri sp3 bağları) ve G zirvelerinin (grafit benzeri sp2 bağlarının) şiddetlerini gözlemlemek için normalleştirilmiş Lorentz eğrilerinin tepe eğrilerine benzeştirilmesi ile elde edildi. Azot akış hızı arttıkça, ID / IG oranı da artma eğilimindedir. Her N-katkılı film için, tipik bir DLC spektrumu olan 1320-1350 $cm^{-1}$ (D tepe noktası) ve 1575-1585 $cm^{-1}$ (G tepe noktası) merkezli iki geniş tepe noktası gözlenmektedir (Rusli

ve ark. 1998; Zhang ve ark 2000). Ayrıca, nispeten yüksek ID / IG değerleri, daha az kusurlu (pürüzsüz film yüzeyi) grafit mikro kristalitlerin büyümesine de yorumlanabilir (Chu ve Lee 2005; Cho ve ark. 1992).

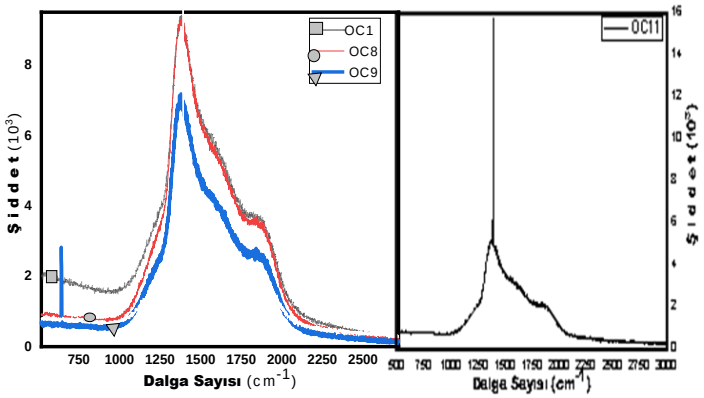
### 4.4.1 Cam Alt Tabanlar Üzerine Depolanan DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Raman Spektroskopisi

Cam örneklerde Raman spektroskopisinden elde edilen grafiklerde elmas benzeri karbonun karakteristik eğrisi bulundu. 1580 $cm^{-1}$ de ortaya çıkan G piki grafit yapıya ait iken, 1350 $cm^{-1}$ de olan D piki ise grafitin düzensizliğinin ifadesidir. Birçok düzensiz karbon yapı bu D ve G pikleri tarafından tanımlanmaktadır. 1040 $cm^{-1}$ de bulanan tek çizgi elmas yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuç eğri üzerindeki ince çizgilerin kaplanan yüzeyin elmas yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu yüzeyde kristal yapının da olduğu söylenebilir.

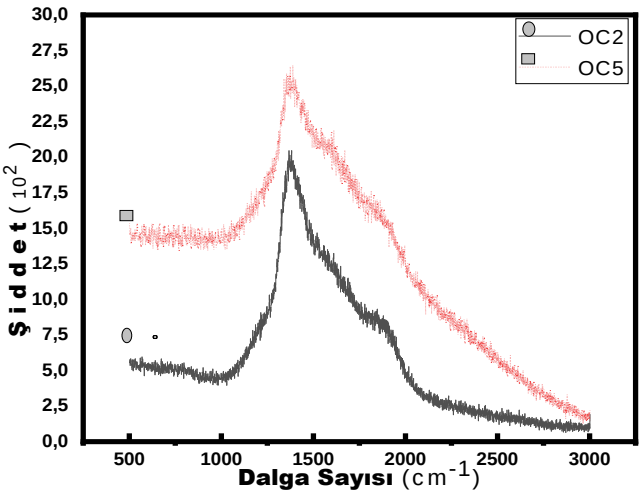
Ayrıca 1900 $cm^{-1}$ civarlarında G' piki görülmektedir. Raman verisindeki piklere Gaussian fit yapıldığında fit sonucunda $I_d/I_g$ pik oranları yapıdaki $sp^3/sp^2$ bağ oranı hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlar (E. Rusli,1998). Bu oranın yüksek olması nano kristalize yüzeyler üretildiği anlamına gelir. Tüm cam örneklerde 1380 $cm^{-1}$ piki çok baskın piktir, üretilen filmlerin yüzey görüntülerinden de (AFM-SEM) bu özellik yüzey morfolojisinden görülmektedir. Ayrıca OC9 ve OC11 örneklerinde tek elmas (single diamond) piki görülmektedir. Bu bize yüzeyde mikro elmas üretildiğini gösterir. Bu kristalcikler optik mikroskopta da gözlendi (X2000 büyütme ile).

Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 grafenin tek, çift ve üçlü tabaka spektrumlarını göstermektedir. G bandının yeri numunede mevcut olan tabaka sayısına bağlı olarak tabaka kalınlığının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. G bandı daha düşük enerjilere kaydıkça tabaka sayısı artmaktadır. Tabaka sayısı arttıkça grafendeki bağların zayıfladığı ve kaymaya sebep olduğu görülmektedir. Ayrıca G bandının yeri, katkılamadan etkilendiği gibi örnek üzerindeki kirlilik ve

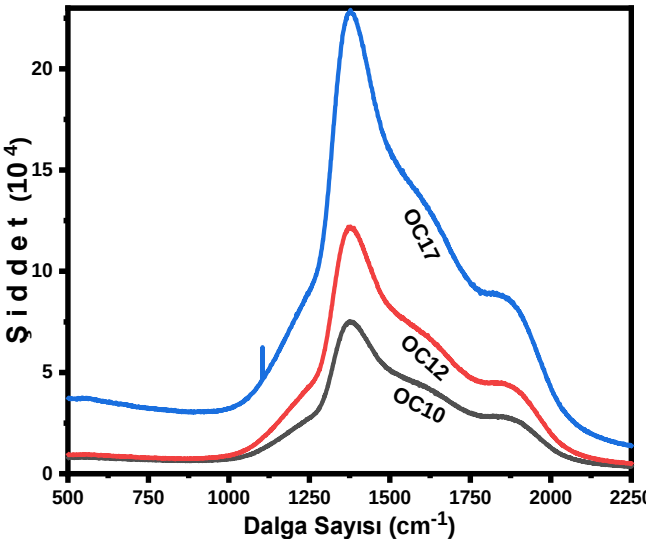
sıcaklıktan da etkilenmektedir. Kalınlık tespiti için G bandının şiddetinden de yararlanıldı. G bandı; şiddet, sıcaklık, katkılama ve örnek üzeri kirlilikten daha az etkilenir. Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10' da G bandı yoğunluğundaki doğrusal artış grafen katmanlarındaki artışı göstermektedir. Ayrıca katman sayısının artışı ile bant daha düşük dalga sayısına geçmektedir. OC1, OC8 katman kalınlığının aynı olduğu ve büyükten küçüğe sıralamanın (OC1-OC8), OC9, OC11, OC5, OC2 olarak belirlenmiştir. OC11, OC17 ve OC9 üzerindeki tek çizgi elmas yapımında olduğunu göstermektedir.




Şekil 4.8. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin Raman spektroskopisi



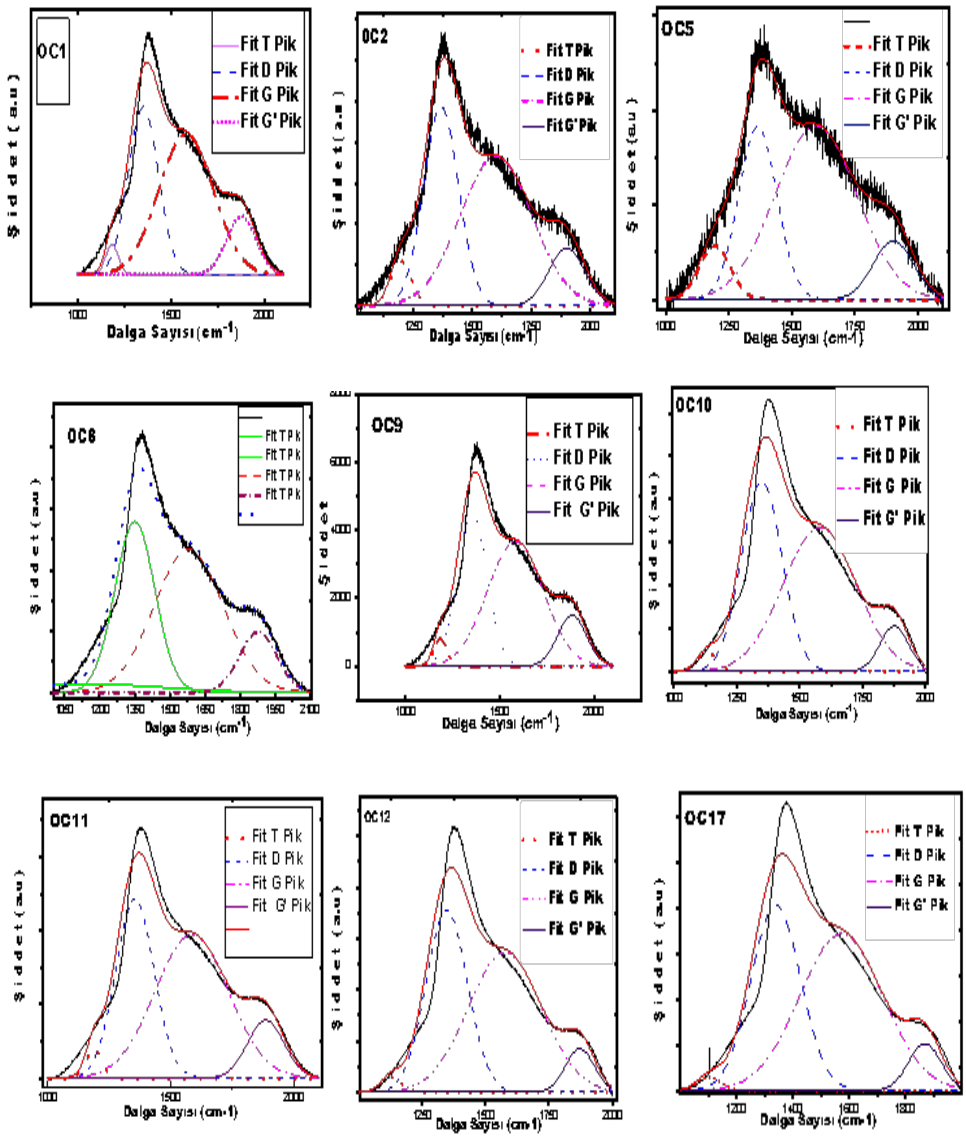

Şekil 4.9. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin Raman spektroskopisi




Şekil 4.10. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin Raman spektroskopisi

Şekil 4.10 de katman kalınlığının sıralaması OC17, OC12, OC10 olarak belirlendi. OC17 deki tek çizgi elmas yapısının da oluştuğunu göstermektedir.

Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görülen G, D ve G' piklerinin grafene aittir. Burada görülen, G' bandı G bandının ikinci mertebesidir ve D bandının oluşmasında malzemede kusurlar etkili ise de 2D bandının kusur olması gerekmez. 2D bandı da grafen kalınlığını tayin etmek için kullanılır ve 2D bandının yerinin yanı sıra şekli de grafen kalınlığı tayininde kullanılır (Wall, M., 2011). Bu işlemi D ve G bandı içinde yapılabilir. Tek tabaka grafen için yaklaşık 1350 $cm^{-1}$ de simetrik ve yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 30 $cm^{-1}$ olan tek pik gözlenir. Bu pikin simetrisi bozulur ve pik genişlemeye başlarsa tabaka sayısı artar. Bu şekilde 2D bandından tek tabaka grafen ve çok tabaka grafen anlaşılabilir. Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 da OC2-OC5 in çok tabaka diğerlerinin ise tek tabaka grafen oldukları söylenir. I2D/IG oranı ile de tek tabaka grafen bulunabilir ve bu oranın 2 olduğu görülmektedir.




Şekil 4.-11. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin raman grafikleri (dekonvole edilmiş hali)

Çizelge 4.12. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin Raman analizi

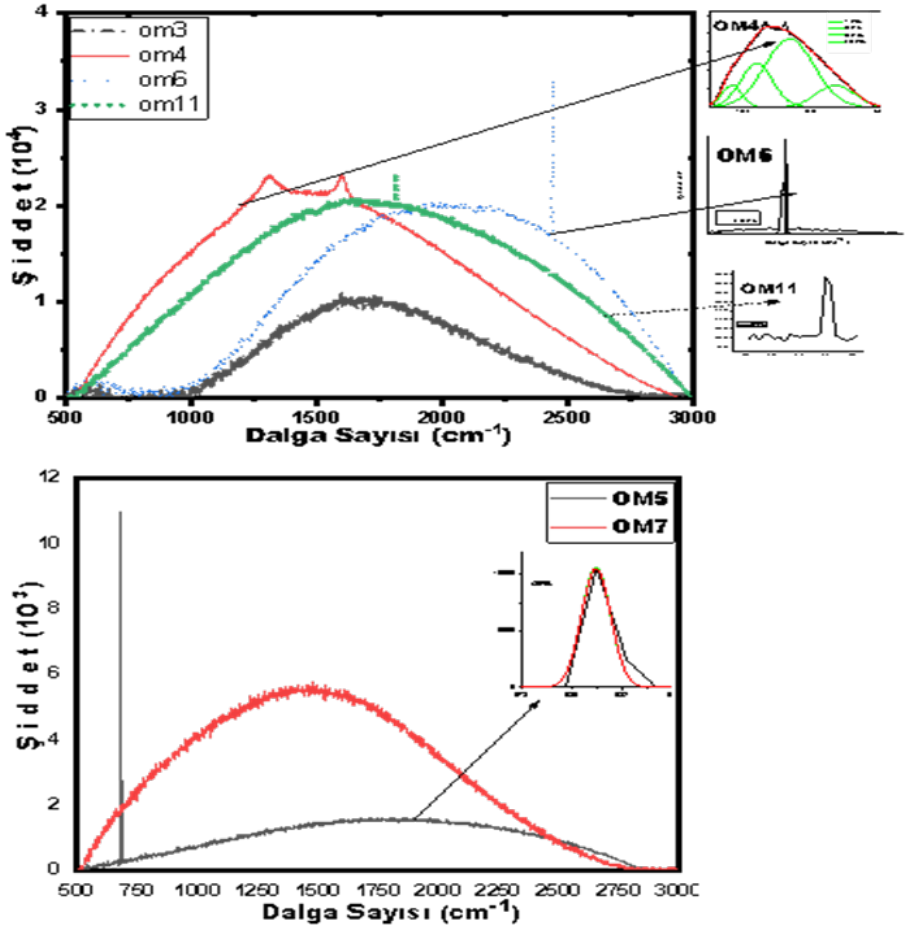
| Örnek Adı | T | D | G | D’ | Id/Ig |
|---|---|---|---|---|---|
| OC17 | 1103 | 1340 | 1572 | 1869 | 1,19 |
| OC12 | 1126 | 1346 | 1576 | 1871 | 1,30 |
| OC10 | 1133 | 1349 | 1579 | 1875 | 1,32 |
| OC1 | 1183 | 1350 | 1580 | 1877 | 1,20 |
| OC8 | 1163 | 1350 | 1581 | 1877 | 1,19 |
| OC9 | 1185 | 1352 | 1583 | 1883 | 1,24 |
| OC11 | 1187 | 1354 | 1585 | 1886 | 1,25 |
| OC5 | 1193 | 1363 | 1595 | 1902 | 0,99 |
| OC2 | 1197 | 1367 | 1599 | 1898 | 1,32 |

### 4.4.2 Paslanmaz Çelik Alt Tabanlarda ki DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Raman Spektroskopisi

Paslanmaz çelik örneklerinden Raman ölçüm sonuçlarına bakılarak G ve D piklerinin oluştuğu ve aynı zamanda kristal yapının olduğunu gösteren ince çizgi piklerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Bazı metal örnekler de net pik görülmemesi karbon ya da elmas yapıların oluşmadığını göstermez. AFM, SEM ve XRD sonuçlarına bakılarak bazı ölçümlerde G, D, 2D ve T piklerinin net bir şekilde oluşmaması, ölçüm alınan bölge ve lazer aralığından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.12’de OM4 de net bir D-G piki gözlenirken, OM5, OM6 ve OM11 deki keskin pik elmas yapının oluştuğunu göstermektedir. Raman ölçümleri kullanılan dalga boyuna ve lazerin gönderildiği bölgeye göre piklerin gözlenmesini sağlamaktadır. Yalnız D bandı gibi bu bantta kullanılan uyarıcı lazerden etkilenir. Yani 2D bandıyla çalışırken de tüm ölçümlerde aynı lazerin kullanılması gerekir. Cam örneklerin üzerinde diğer alt tabanlar yapıştırılarak örnek üretildiği için camlarda net gözlenen D, G, 2D piklerinin diğerlerinde de gözlenmesi gerekiyordu.

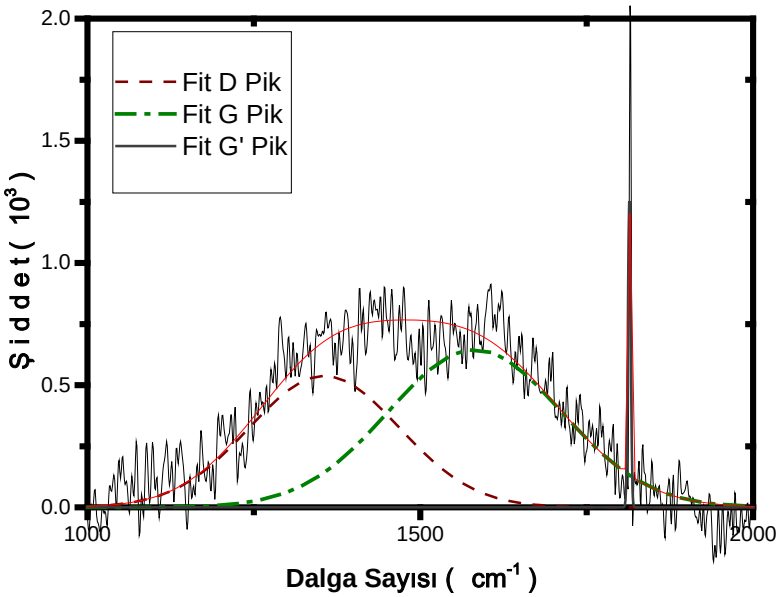
Bu çalışmada OC2-OM2, OC5-OM5, OC11-OM11 aynı anda kaplandı. Fakat cam alt-tabanlarda çıkan bantlar metallerde net gözlenmemesi lazer den ya da ölçüm alınan yerden kaynaklanmaktadır. Bazı numunelerde D, G, 2D bantları oluşmasa da SEM, XRD ve AFM ölçümlerine bakıldığında aynı kaplamada nano duvar ve nano kristal yapıların oluştuğunu ve Raman da ki ölçümlerin bazıları kristal alana denk geldiğinden D-G pikleri gözlenmedi. Bunu da örnek OC11 ve OM11 aynı anda üretildiği için OC11 de D, G, 2D bantlarının üstünde elmas piki gözlendi. OM11'de ise tek elmas pikinin net olması ölçüm bölgesinde elmas olan yere denk geldiği anlamına gelmektedir.




Şekil 4.12. Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon kaplamanın Raman grafikleri

### 4.4.3 Titanyum Alt Tabanlı Diş Tellerinde ki DLC Amorf Karbon İnce Filmlerin Raman Spektroskopisi

Şekil 4.13. titanyum üzerine DLC kaplanan diş teli1' in Raman grafiğini göstermektedir. Bu grafikte, G ve D piklerin yanında elmas' a ait çizgi halindeki pike rastlandı. Bu durum, nano duvarlarla aynı bölgede elmas yapılarında oluştuğunu göstermektedir.

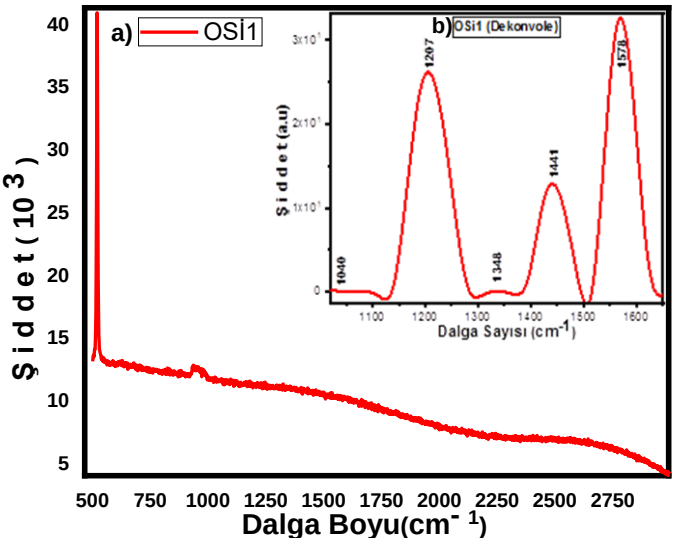



Şekil 4.13. Titanyum (diş teli) alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin Gaussian- dokonvole edilen Raman grafiği

### 4.4.4 Silisyum Alt Tabanlar Üzerine Depolanan DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Raman Spektroskopisi

Şekil 4.14, silisyum alt-taban olan Osi1 örneğinin DLC kaplandıktan sonra elde edilen Raman grafiğine aittir. a) grafiğinde D ve G piklerini daha detaylı görebilmek için dekonvole edilerek b) 'de ki grafik elde edildi. Si alt-taban üzerine depolanan DLC' nin Raman spektrumları geniş bir aralıkta 1000 $cm^{-1}$ ile 1050 $cm^{-1}$ aralığında karbon bantların tepe değeri gözlenmektedir. 1040 $cm^{-1}$ 'da elmas yapı oluştuğundan burada da bu yapıdan söz edilebilir. Ölçülen spektrumların iki Gauss tepe noktaları 1348 $cm^{-1}$ ve 1578 $cm^{-1}$ bulundu. Şekil 4.14 'de görülen bu bantlar düzensiz grafit (D bandı) ve saf grafit $sp^2$ (G bandı)'dir. Kaynaklarda 1350 $cm^{-1}$-1585 $cm^{-1}$ tepe değerlerinin çıktığı bu çalışmada D pikinin 2 $cm^{-1}$ ve G pikinin 7 $cm^{-1}$ kadar kaymaya uğradığı görülmektedir. Bu nedenle burada $sp^2$ DLC filmlerinin etkisinin arttığı söylenebilir. Ek olarak, silisyum karbondan daha yüksek bir atom kütlesine sahiptir ve bozulma, SiC köprüleme bağlarının varlığına

atfedilebilir ve C-C bağları kuvvetlenmektedir. Diğer yandan $sp^3$ konfigürasyonu arttıkça, $sp^2$ küme boyutu azalır ve elde edilen Raman frekans artışı ile bağlanma sırası artar. Bu, $sp^2$ hibridize bağlı kümelerin kristal boyutundaki değişiklikten kaynaklanmaktadır (Mukhtar H. Ahmed,2015). Bu çalışmada OC1 ve OSi1 aynı anda kaplandığı için Raman grafikleri kıyaslanabilir. Alt taban farkından dolayı G, D ve 2D bantları genişlik ve şiddette farklılık gösterir. D bantları kıyaslanırsa OSi1 de daha küçük bir bant gözlendiği için buradaki düzensizlik ve kristal kusurlar daha azdır.



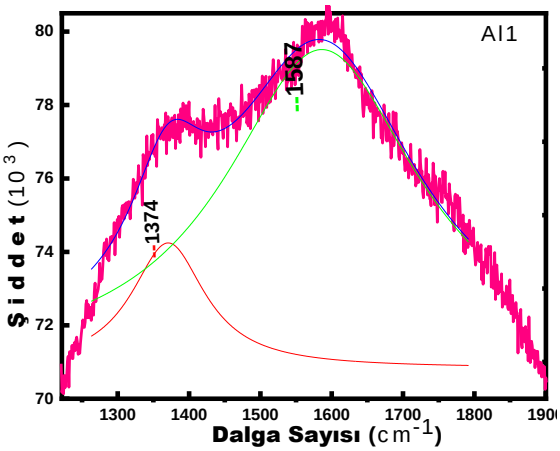

Şekil 4.14. Karbon kaplı Osi1 örneğine ait a) Raman grafiği b) Gaussian-dekonvole edilen hali

Şekil 4.14'de silisyum piki 500 $cm^{-1}$ civarlarındadır. Bunun dışındaki 1200, 1348, 1440, 1578 $cm^{-1}$ pikleri karbon kaplama karakteristiğini göstermektedir. Bu piklerin gaussian fit alanları ve maksimum değerleri incelendiğinde, silisyum üzerinde yüksek oranda nano kristalizasyon gözlendi. Bu gözlenen yapı nanoduvar yapılarıdır.

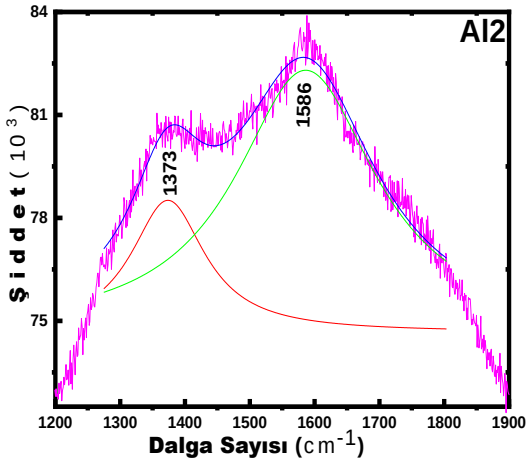
### 4.4.5 Alüminyum Alt Tabanlarda ki DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Raman Spektroskopisi

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16, alüminyum alt tabanlı örneklerin DLC kaplandıktan sonra elde edilen Raman grafikleridir. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16' ya bakıldığında G ve D piklerinin yerleri iki örnekte de birbirine yakın elde edildi. Üretim koşullarının aynı olmasından kaynaklı yakın değerler gözlenmesi beklenirken, Al1 asitle aşındırılmadan üretim yapıldığı için dalga boyu Al2' ye göre biraz daha küçüktür. Bununla birlikte Al1' in D ve G pik şiddetinin Al2 ye göre düşük olduğu görülmektedir. Bu da grafenin tek ve çift tabaka spektrumlarını ve ayrıca G bandı yoğunluğundaki doğrusal artışı göstermektedir. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da ki Raman grafiklerinde dalga boyu küçük, şiddeti büyük olan katman kalınlığının fazla olması, Al2'in katman kalınlığının Al1'den fazla olduğu anlamına gelmektedir.

Alüminyum alt-taban üzerine depolanan DLC'nin Raman spektrumları geniş bir aralıkta Şekil 4.15 1374 $cm^{-1}$ ile 1587 $cm^{1}$ aralığında karbon bantların zirvesi gözlenmektedir. Şekil 4.16'de ölçülen spektrumların iki Gauss tepe noktaları 1373 $cm^{-1}$ ve 1586 $cm^{-1}$ bulunmuştur. Bu iki veri arasında 1 $cm^{-1}$'likkadar kaymaya uğradığı görülmektedir. Bu nedenle burada $sp^2$ DLC filmlerinin etkisini arttıran örnek Al1' in asitle aşındırılmış olmasıdır. Ayrıca bu çalışmadaki piklerin kaynaklardaki verilerden fazla olması, bu örneklerin 300°C' de tavlanmasının C-C bağlarının kuvvetlendirmiş olabileceğine atfedilebilir. İki seri grafiğinde G bandı 2D bandından oldukça yüksektir ve iki seri spektrumda da düzensizliği ve kristal kusurlarını gösteren D bandı mevcuttur.




Şekil 4.15. DLC kaplı Al1 örneğine ait Raman grafiği (Lorentz' yen dekonvole işlemi uygulandı)




Şekil 4.16. DLC kaplı Al2 örneğine ait Raman grafiği (Lorentz' yen dekonvole işlemi uygulandı)

### 4.5. Farklı Alt Tabanlar Üzerine Depolanan DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin Morfolojik Özellikleri

Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5' de depolama koşulları verilen karbon ince filmler ECR-MP plazma depolama yöntemiyle üretilen filmlerin yüzey yapısındaki oluşumlar incelendi. Kaplanmış

yüzeylerin yüzey karakterizasyonu ve aşınma testleri çeşitli analizlerle gerçekleştirildi. Alt tabanların yüzey morfolojisi 100 V-30 kV hızlandırıcı voltaj kapasitesi ve 106x'e kadar büyütmeyle SEM' den (Quanta 650) elde edilirken, AFM (XE-70 Park Sistemleri) görüntüleri, 100 μm x 100 μm tarama boyut kapasitesine sahip cihaz ile ölçüldü.

### 4.5.1. DLC Amorf Karbon Kaplı Farklı Alt Tabanların AFM Görüntüleri

#### 4.5.1.1 Cam Alt Tabanlara Ait AFM Görüntüleri

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18' de farklı akılardaki metan gazı kullanılarak farklı iyon enerjisi ve sürelerde üretilen ince filmlerin 5 μm×5 μm alanda AFM görüntüleri alındı. Burada belirgin ve düzgün nano yapılar gözlenmiştir. İncelenen AFM görüntülerinde karbon film tabakasının yüzeye düzgün dağıldığı görüldü. Yüzey yapısı incelendiğinde karbon nano duvarların oluşum aşamaları görülmektedir. Farklı alt tabanlarda yaptığımız çalışmalar gösteriyor ki iyon enerjisinin 15-22 mA, gaz akış oranının 4 ila 6.5 sccm aralığında olması koşulu ile 30.dk ' dan sonra CNW yapısının oluşumu gözlenmektedir.

Çizelge 4.13. Cam alt tabandaki DLC ve Amorf Karbon İnce Filmler 'in AFM yüzey pürüzlülük değerleri

| Örnek adı | Ra | Rq |
|---|---|---|
| OC1 | 60,24 | 71,06 |
| OC2 | 2,69 | 3,82 |
| OC5 | 0,64 | 0,46 |
| OC8 | 0,68 | 0,96 |
| OC9 | 3,31 | 5,83 |
| OC10 | 4,08 | 5,42 |
| OC11 | 5,07 | 9,23 |
| OC12 | 3,24 | 4,49 |

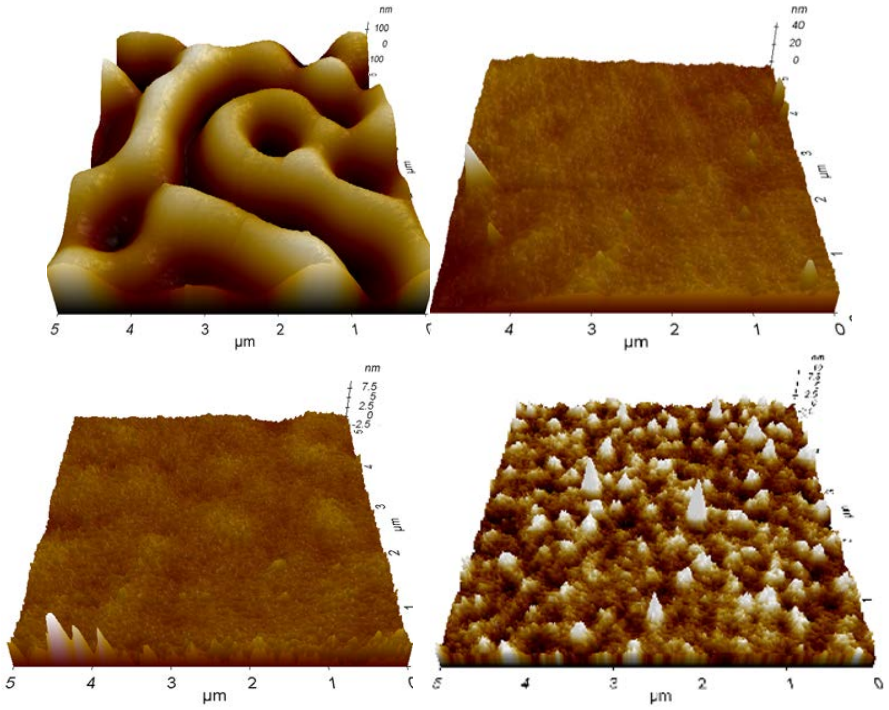
Çizelge 4.13'de filmlerin yüzey pürüzlülük değerleri azdan çoğa doğru OC5, OC8, OC2, 0C12, OC9, OC10, OC11, OC1 olacak şekilde verildi. Yüzey pürüzlülüğü en az olan OC5 örneğidir. Yüzey pürüzlülüğü en fazla olan OC1 örneğidir. Bu durum OC1'in boyutundan kaynaklıdır.

OC1 ve OSi1 örnekleri aynı anda üretildiğinden sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil4.28'de verilen AFM görüntüleri de hemen hemen aynıdır. Her ikisinde de nano duvar gözlendi. Alt taban farklılıklarından dolayı şekilde kısmen farklılık gözlendi. OC1 nano duvar yapısı daha fazla tamamlandı. Şekil 4.18' de verilen OC9' a ait AFM görüntüsünde nano duvarların başlangıç hali gözlendi. Yine OC1 ve OC9'u Şekil 4.28 ve 4.29'da görülen nano duvarlarla kıyaslarsak oluşumun aşamaları gözlenebilir. Bu çalışmadan iyon enerjisi 0,4 keV – 1keV aralığında nano duvarın başlangıç ve bitiş aşamaları gözlenmektedir. Nano duvar oluşumuna etki eden etkenlerden birisinin iyon enerjisi olduğu söylenebilir. Şekil 4.17 b, c, d görüntülerinde DLC kaplama görülmektedir. OC1 yüzey baskın yapılarının nano duvar olduğu görülmektedir. OC2 örneği incelendiğinde, nano prizma yapılarının tam oluşmadığı, fakat başlama izlerinin oluştuğu tespit edildi. OC5 incelendiğinde karbon çiçek benzeri nano duvar (CNW-LF) yapıların AFM analizi için kaba yüksek yapılar olacağından incelenen yüzeyin daha düz yüzeyden alındığı görülmektedir.

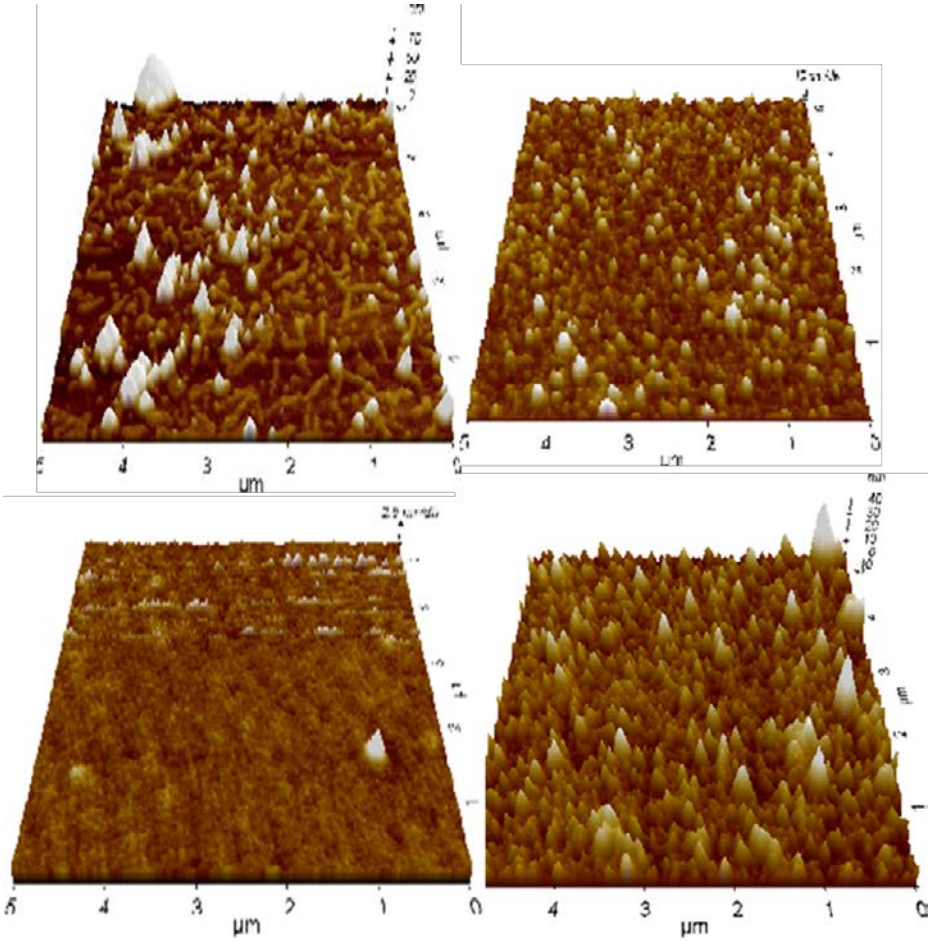
Şekil 4.18' de görüldüğü gibi, OC8 DLC filmin morfolojik zirveleri OC5 filmindeki piklere göre oldukça keskindir. Çizelge 4.12'de verilen örneklerin Rq değerleri OC5, OC8 için sırasıyla 0.464 nm, 0.962 nm'dir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, filmlerin yüzey pürüzlülüğü, yüzey DLC atomik konsantrasyonu arttıkça azalmaktadır. Bu sonuçlar, DLC' nin artmasıyla Rq değerinin azalma eğiliminde olduğunu gösteren diğer araştırmalarla uyum içindedir (J. Wang, 2013-K.-H, 2013).

OC9 ve OC11 gaz akış oranına bağlı olarak Şekil 4.18 f, g'de kıyaslama yapılırsa, DLC atomik yoğunluğu arttıkça pürüzlülüğü azalan pik zirvesi sayısı

artmaktadır. Çizelge 4.13'de OC10, OC11 örnekleri için pürüzlük değerleri sırası ile 5,42, 9,23 şeklindedir.




Şekil 4.17 (a)OC1, (b)OC2, (c) OC5, (d) OC8, DLC ve amorf karbon kaplı cam alt tabanların AFM görüntüsü




Şekil 4.18. (e) OC9, (f) OC10, (g)OC11, (h)OC12, DLC ve amorf karbon kaplı cam alt tabanların AFM görüntüsü

### 4.5.1.2 DLC ve Amorf Karbon Kaplı Paslanmaz Çelik Alt Tabanlara Ait AFM Görüntüleri

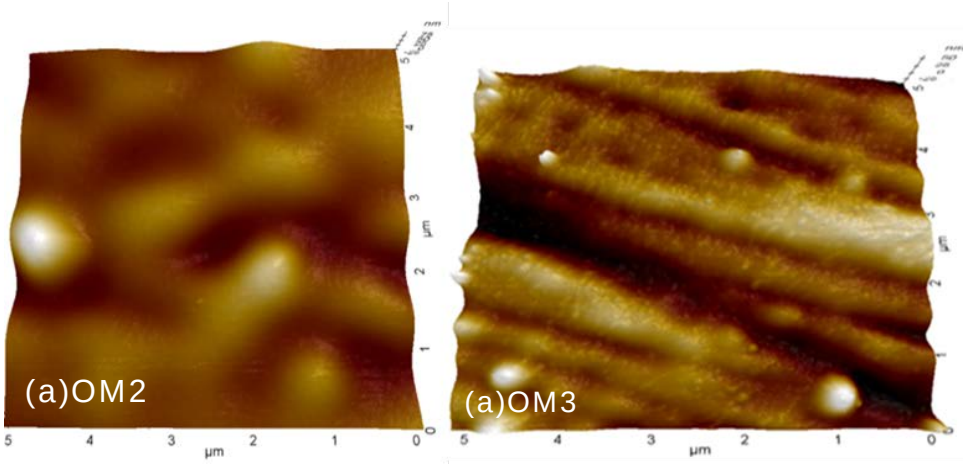
Paslanmaz çelik alt tabana yapılan kaplama koşulları Çizelge 4.2'de verildi. Üretim süreleri 60 dakikadır. Mikrodalga gücü 70 W ve hızlandırma gerilimi 300-600 V olarak seçildi. Kaplama yüzeyinin direnç değişimine bağlı olarak kaplama voltajı üretim süresince değişebilmektedir. Üretilen metal

yüzeylerin bazıları cam alt tabanla aynı anda kaplandı ve üretim parametreleri aynıdır. Bazı örnekler üretilirken yüzeye azotta eklendi.

Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine büyütülen kaplamaların AFM analizi Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23'de gösterilmektedir. Buradan ele edilen AFM görüntülerine bakıldığında yüzeyde homojen kaplama olduğu görülmektedir. Filmlerin pürüzlülük değerleri Çizelge 4.14'de verilmektedir. Film yüzeyinin pürüzlülük değerleri küçükten büyüğe OM4, OM3, OM5, OM2, OM7, OM11, OM6 şeklindedir. Bu sıralamaya bakılırsa pürüzlülüğü en yüksek olan örnek OM6 olmaktadır.

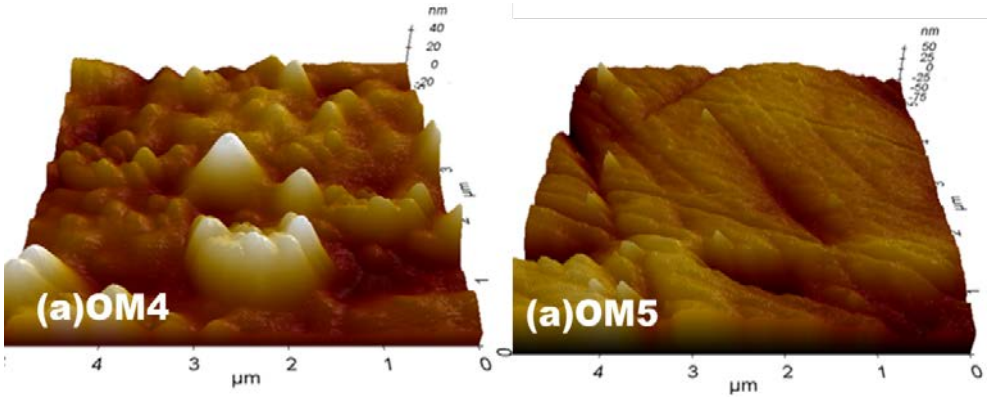
Çizelge 4.14. Paslanmaz çelik alt tabanlar üzerine depolanan DLC ve amorf karbon ince filmlerin AFM yüzey pürüzlülük değerleri

| Örnek adı | Ra | Rq |
|---|---|---|
| OM2 | 14,45 | 19,34 |
| OM3 | 10,46 | 13,96 |
| OM4 | 7,18 | 9,67 |
| OM5 | 11,47 | 15,63 |
| OM6 | 61,79 | 75,44 |
| OM7 | 26,89 | 35,15 |
| OM11 | 38,19 | 49,28 |




Şekil 4.19. Metal alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın AFM görüntüleri

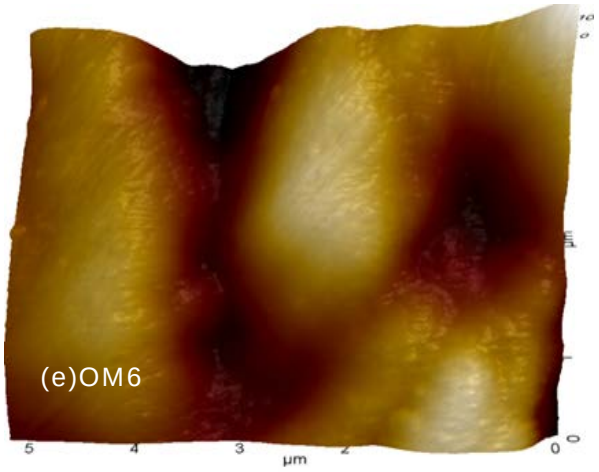
Şekil 4.19'daki OM2 ve OM3'de nano duvar yapısı görülmektedir. Her iki yüzey yapısındaki farklılık OM3' deki azot katkılamasından kaynaklanmaktadır. Oluşan karbon nano duvar yapılarının cam ve silisyum alt tabanlardaki görüntüye benzediği görülmektedir. Nano tel yapılar belirli bir süre büyüdükten sonra birleşerek ve kalınlıkları artarak nano duvar yapısına benzediği anlaşılmaktadır. Çizelge 4.14'de pürüzlülük değerlerini kıyaslarsak OM2 (19,337) örneğinin pürüzlülüğü OM3 (13,962) 'den büyüktür.




Şekil 4.20. Metal alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın AFM görüntüleri

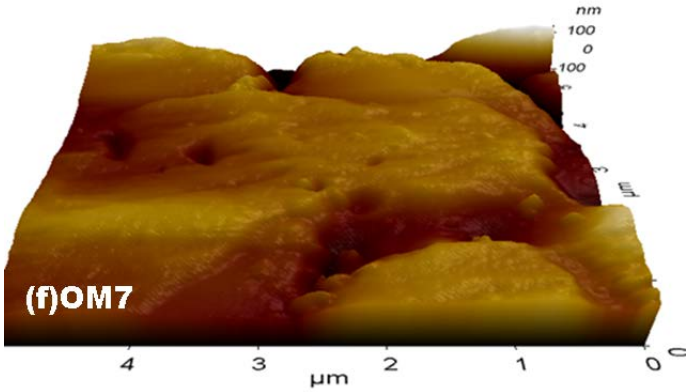
Şekil 4.20'de her iki yapının da düzgün kaplandığı görülmektedir. Metal üzerine kaplama yüzeyleri AFM görüntüleriyle incelendiğinde, OM5 örneğinin yüzeyi sert pürüzlülükler içermektedir. Bu kaplamadan önce çelik yüzeylerin yapısal kusurlarının olduğu ve kaplamanın bunları değiştiremediğini göstermektedir. Ayrıca yüzeyde nano yarık izleri görülmektedir.

OM4'ün metan oranı OM3 ile aynı olmasına rağmen azot oranının fazla olmasından dolayı Şekil 4.20'de her iki yapının da düzgün kaplandığı görülmektedir. OM4'ün yapısının farklılaştığı gözlenmektedir. OM5'in basıncı OM2 den düşük olması yapının deforme olarak bu hali almasına neden olmaktadır.



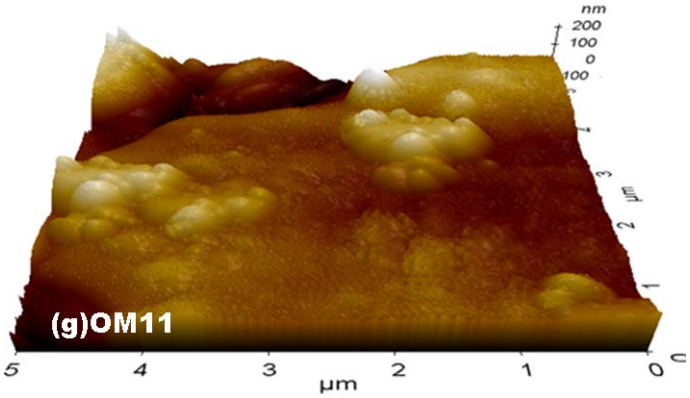

Şekil 4.21. Metal alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın AFM görüntüleri

Şekil 4.21'deki yapı OM2'deki nano duvar yapısı boyutunun büyütülerek elde edilen halidir. Boyut farkına sebep olan ise OM6' da azot kullanılmasıdır. Burada ki yapıların cam ve silisyum alt tabanlardaki nano duvar görüntüsüne benzediği görülmektedir. OM6 da ise azot ($N_2$) katkılamanın yüzeyi daha pürüzsüz hale getirdiği ve ayrıca nano duvar yapılarının bir bölümü görülmektedir.




Şekil 4.22. Metal alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın AFM görüntüleri

Şekil 4.22'de yapının düzgün kaplandığı ve yer yer çukurların olduğu gözlenmektedir.




Şekil 4.23. Metal alt tabanlar üzerine depolanan DLC kaplamanın AFM görüntüleri

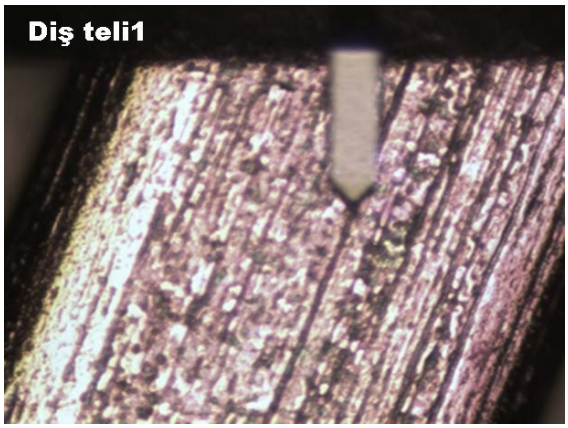
Şekil 4.23' de ki görülen yüzeyin yapı bakımından OM4'e benzediği farklılığın ise burada azotun kullanılmaması kaynaklı olduğu söylenebilir.

### 4.5.1.3 DLC Kaplı Titanyum Alt Tabanlı Diş Teline Ait AFM Görüntüleri

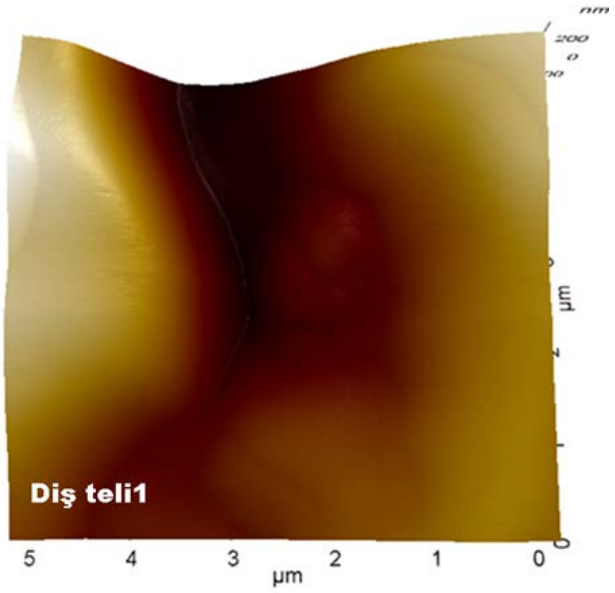
Titanyum kaplı diş tellerinin Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27'de elde edilen AFM görüntülerine bakıldığında homojen bir şekilde kaplama olduğu görülmektedir. Bu örneklerin yüzeyinde oluşan yapıların karbon nano duvarlar oluşturduğu görülmektedir. Raman analizlerindeki $sp^2$ ve $sp^3$ değerleri bu yapının oluştuğunu doğrulamaktadır. Çizelge 4.15'de yüzey pürüzlülük değerleri verildi.

Çizelge 4.15. DLC Kaplı titanyum alt tabanlı diş teline ait AFM yüzey pürüzlülük değerleri

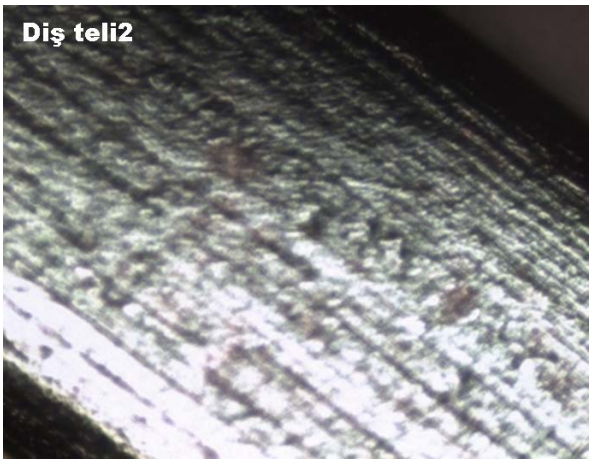
| Örnek adı | Ra | Rq |
|---|---|---|
| Diş teli1 | 135,660 | 161,870 |
| Diş teli2 | 58,878 | 75,475 |



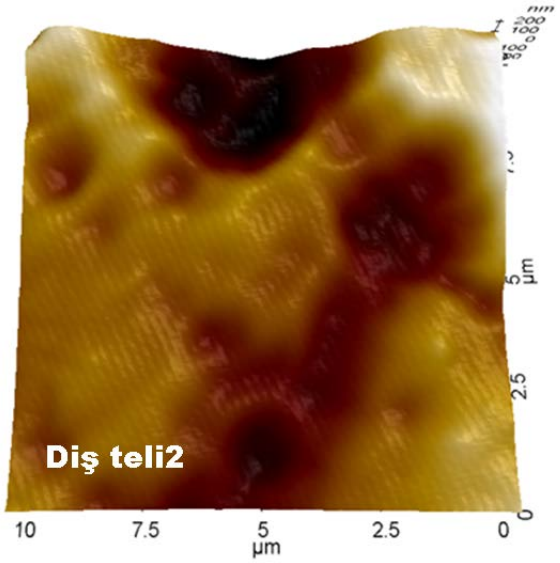

Şekil 4.24. Diş teli1' in üzerindeki DLC kaplamanın AFM yüzey görüntüsü




Şekil 4.25. Diş teli1'in üzerindeki DLC kaplamanın AFM görüntüsü




Şekil 4.26. Diş teli2'nin üzerindeki DLC kaplamanın AFM yüzey görüntüsü



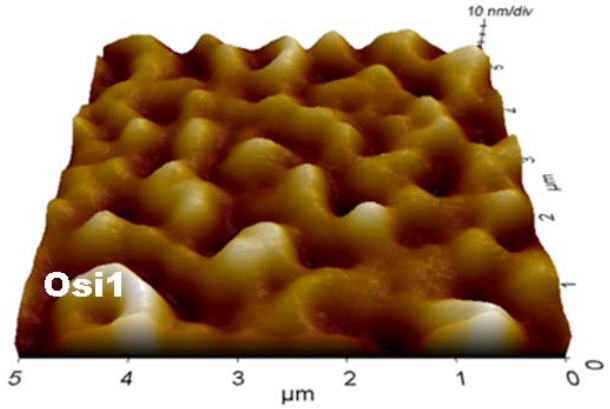

Şekil 4.27. Diş teli2'nin üzerindeki DLC kaplamanın AFM görüntüsü

#### 4.5.1.4 DLC Kaplı Silisyum Alt Tabanlara Ait AFM Görüntüleri

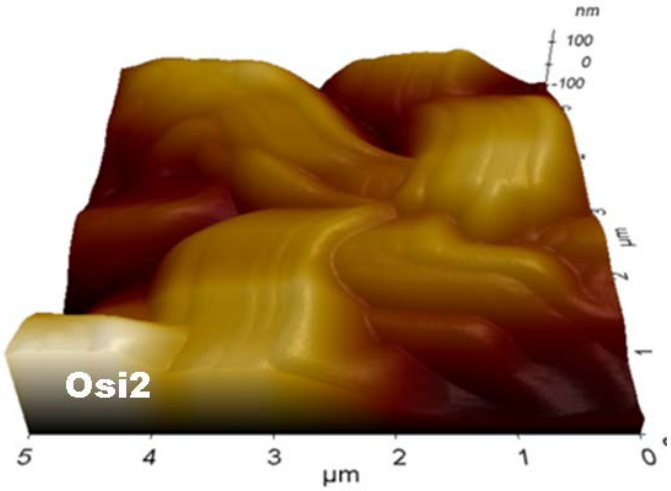
Silisyum alt tabanlarda farklı oranlarda katkılanan filmlerin üç boyutlu topografik görüntüleri Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve 4.31'de gösterilmektedir. Burada elde edilen AFM görüntülerine bakıldığında homojen kaplama olduğu görülmektedir. Oluşan yapılarda karbon nano duvarların oluşum aşamaları görülmektedir. Film yüzeyinin pürüzlülüğü genellikle Ra (roughness) ve Rq (karekök ortalaması) değerleri ile bulunur. Bu değerler Çizelge 4.16' da Rq değerleri sırasıyla 8,43, 60,81, 4,41, 69,46, 25,97, 1,50 şeklindedir. Si, DLC ile depolandığında hidrojen konsantrasyonunda bir azalış olur. Bu sonuçlar gösteriyor ki karbon oranı arttıkça silisyumun atomik oranı ve pürüzlülüğü azalır. Silisyum taban üzerine ön gerilim uygulanarak depolanan DLC, yüzey pürüzlülüğün azalmasını sağlamaktadır. Bu sonuçlar (Mukhtar H. Ahmed ve ark., 2015)'in sonuçları ile uyumludur. Bu durum, silisyum ve hidrojenin yapısının DLC filmlerin dönüşümüne uğrayarak karbondan daha elektronegatif olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.16. Silisyum alt-tabanda ki DLC filmin AFM yüzey pürüzlülük değerleri (OSi1-OSi3-OSi6 ön-gerilim uygulandı)

| Örnek adı | Ra | Rq |
|---|---|---|
| OSi1 | 6,65 | 8,43 |
| OSi2 | 49,31 | 60,82 |
| OSi3 | 3,01 | 4,41 |
| OSi4 | 44,89 | 69,46 |
| OSi5 | 21,11 | 25,97 |
| OSi6 | 1,07 | 1,50 |

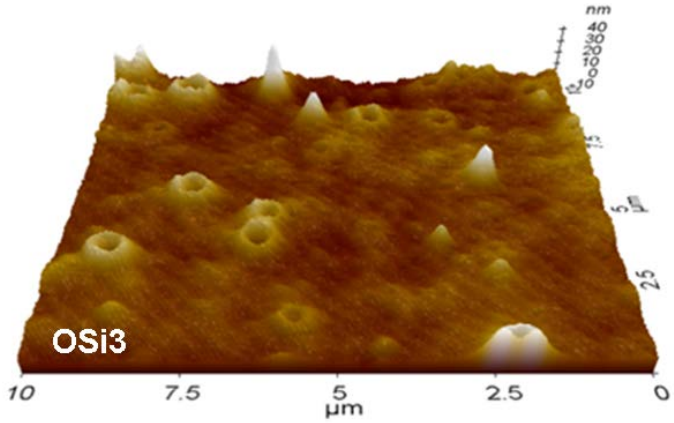



Şekil 4.28. OSi1'in üzerindeki DLC kaplamanın AFM görüntüsü

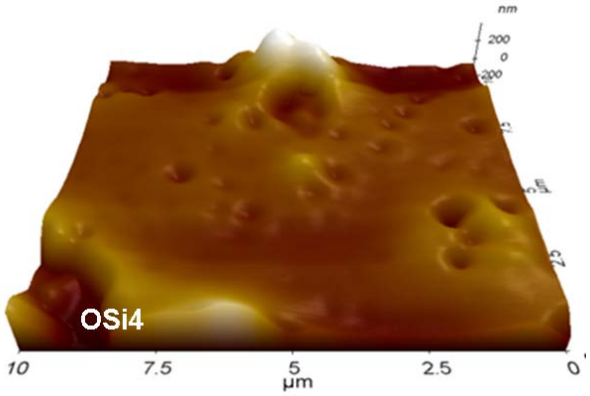



Şekil 4.29. OSi2' nin üzerindeki DLC kaplamanın AFM görüntüsü

Şekil 4.28 ve 4.29'de karbon nano duvarlar görülmesinin yanı sıra, OSi2' de duvarlar birbirine yaslanmış biçimdedir.

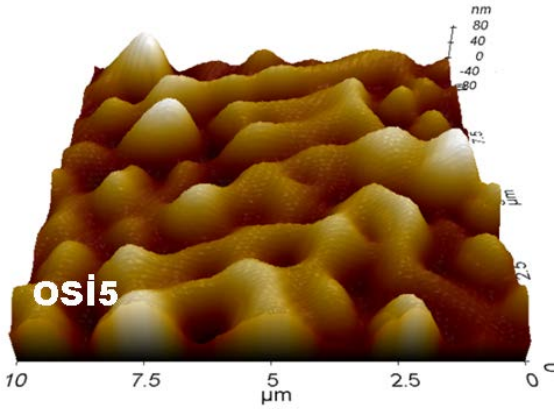



Şekil 4.30. OSi3' ün üzerindeki ön gerilim uygulanan DLC kaplamanın AFM görüntüsü (yükseklik skalası -10 nm +40 nm arasındadır)

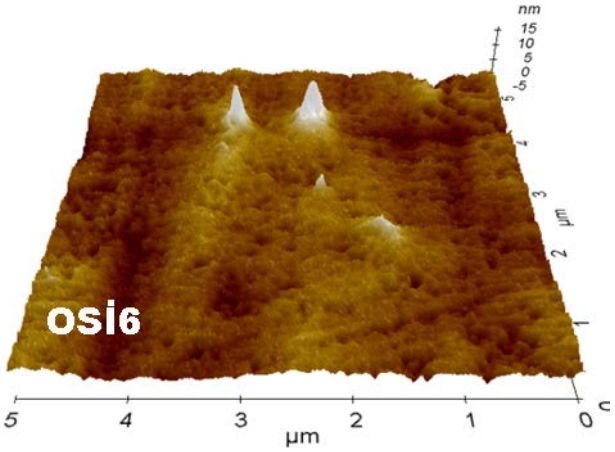



Şekil 4.31. OSi4'ün üzerindeki ön gerilim uygulanmayan DLC kaplamanın AFM görüntüsü (yükseklik skalası -200nm +200 nm arasındadır)

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'e karşılık gelen örnekler aynı anda üretilirken farklı olarak OSi3' e ön-gerilim uygulandı. Ön gerilimin etkisiyle ile yüzey pürüzlülük değeri daha düşük çıkmasının yanı sıra Şekil 4.30 da oluşan göçük duvarları, Şekil 4.31' e ön gerilimin etkisi ile yukarı yönlü yükselmektedir. Aynı zamanda ön gerilimin etkisi ile yapı yüksekliği azalmaktadır.




Şekil 4.32. OSi5' in üzerindeki ön gerilim uygulanmayan DLC kaplamanın AFM görüntüsü (yükseklik skalası -200 +200nm)




Şekil 4.33. OSi6'nın üzerindeki ön gerilim uygulanmayan DLC kaplamanın AFM görüntüsü (yükseklik skalası -5 +15nm arasında)

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'e karşılık gelen örnekler aynı anda üretilirken farklı olarak OSi6' ya ön gerilim uygulandı. -5 ve +15nm genişliğinde mini nano duvar yapılar vardır. Ön gerilimin etkisiyle yüzey pürüzlülük değeri daha düşük çıkmasının yanı sıra Şekil 4.32' de oluşan yapı, Şekil 4.33'de ön-gerilimin etkisiyle karbon depolanması arttığı için kıvrımlı duvar yapı bozulmaktadır. Bozulan kıvrımlı duvar yapı DLC yapıya dönüşmektedir. Aynı zamanda ön gerilim uygulandığı zaman duvar yüksekliği de azalmaktadır.

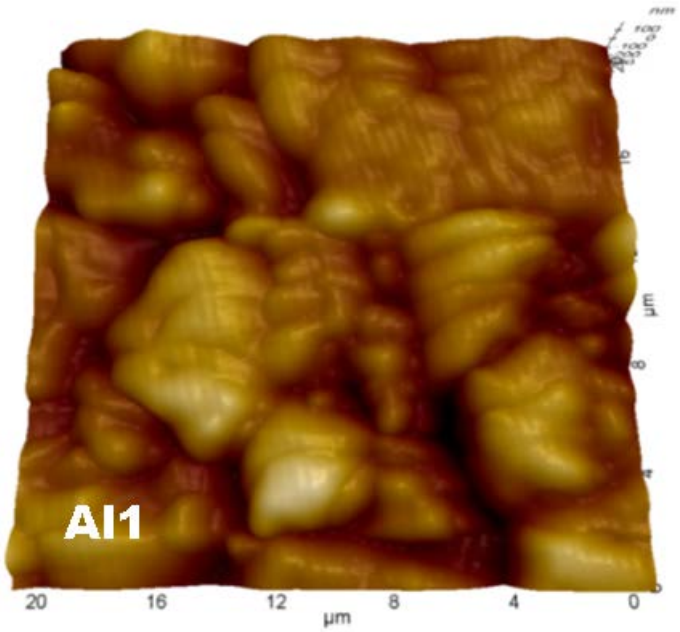
#### 4.5.1.5 DLC Kaplı Alüminyum Alt Tabanlara Ait AFM Görüntüleri

Alüminyum alt tabanlarda farklı değerlerde katkılanan filmlerin AFM görüntüleri Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te gösterilmektedir. Burada sunulan AFM görüntülerine bakıldığında homojen kaplama olduğu görülmektedir. Elde edilen yapıların karbon nano duvarlar oluşturduğu görülmektedir. Filmlerin pürüzlülük değerleri Çizelge 4.17'de verilmektedir. Film yüzeyinin pürüzlülüğü için Rq değerleri sırasıyla 69,13, 84,65 şeklindedir. Asitle aşındırılan alt tabanda DLC

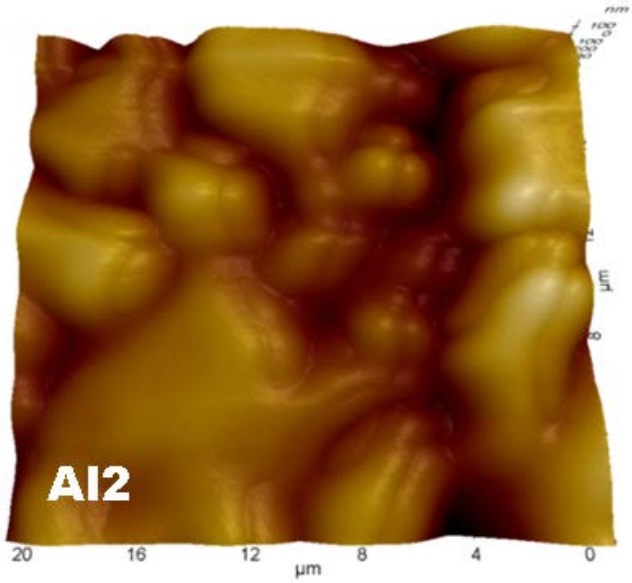
depolanması fazla olacağı için yüzey pürüzlülüğünün azaldığı sonucu çıkarılabilir. Bu da Raman analizinde elde edilen sonuçla örtüşmektedir.

Çizelge 4.17. Alüminyum alt tabana depolanan DLC filmin AFM Ra ve Rq değerleri

| Örnek adı | Ra (roughness) | Rq (karekök ortalama) |
|---|---|---|
| Al1 | 53,67 | 69,13 |
| Al2 | 68,37 | 84,65 |




Şekil 4. 34. DLC kaplı Al1 örneğine ait AFM görüntüsü



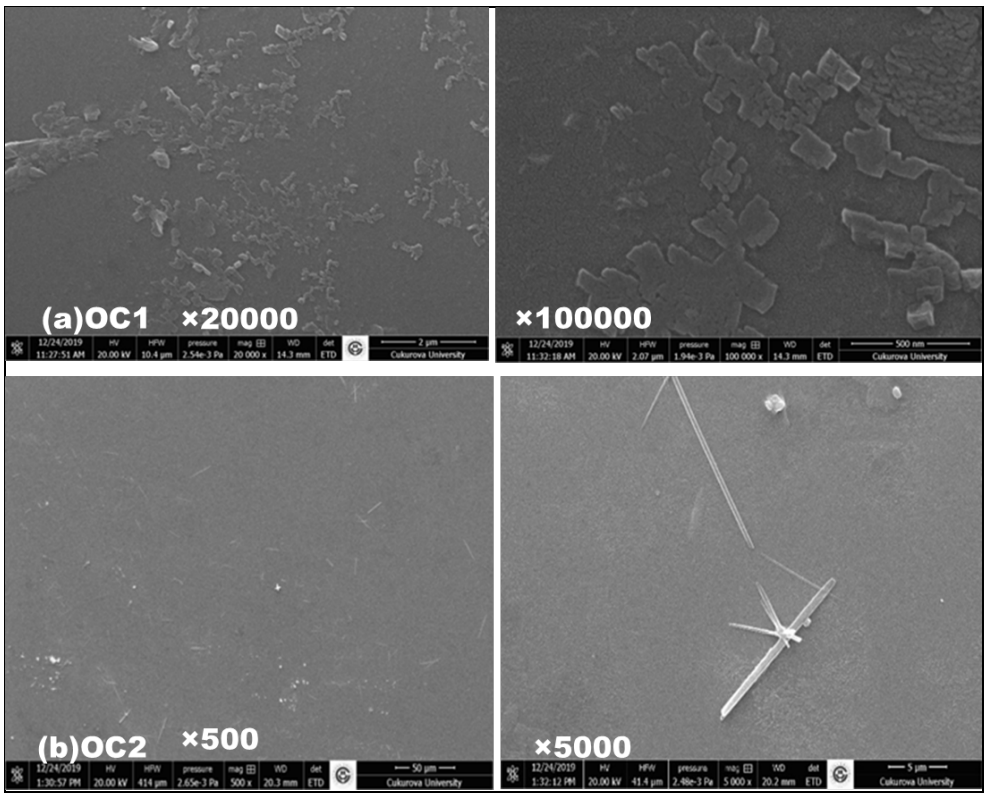

Şekil 4.35. DLC kaplı Al2 örneğine ait AFM görüntüsü

### 4.5.2. Farklı Alt Tabanlarda ki DLC ve Amorf Karbon İnce Filmlerin SEM Görüntüleri

Bu bölümde farklı alt-taban üzerine üretilen filmlerin SEM görüntüleri verilmektedir. Büyütme oranları 500x, 5000x, 20000x, 200000x olacak şekilde alındı. Düşük büyütmeli görüntüler yüzey genel görüntüsü için yüksek büyütmeli görüntülerse yerel nano yapıların gözlenmesi için seçildi. Bu örneklerde yapıların kristalize nano yapılar olduğu Raman analiziyle doğrulandı.

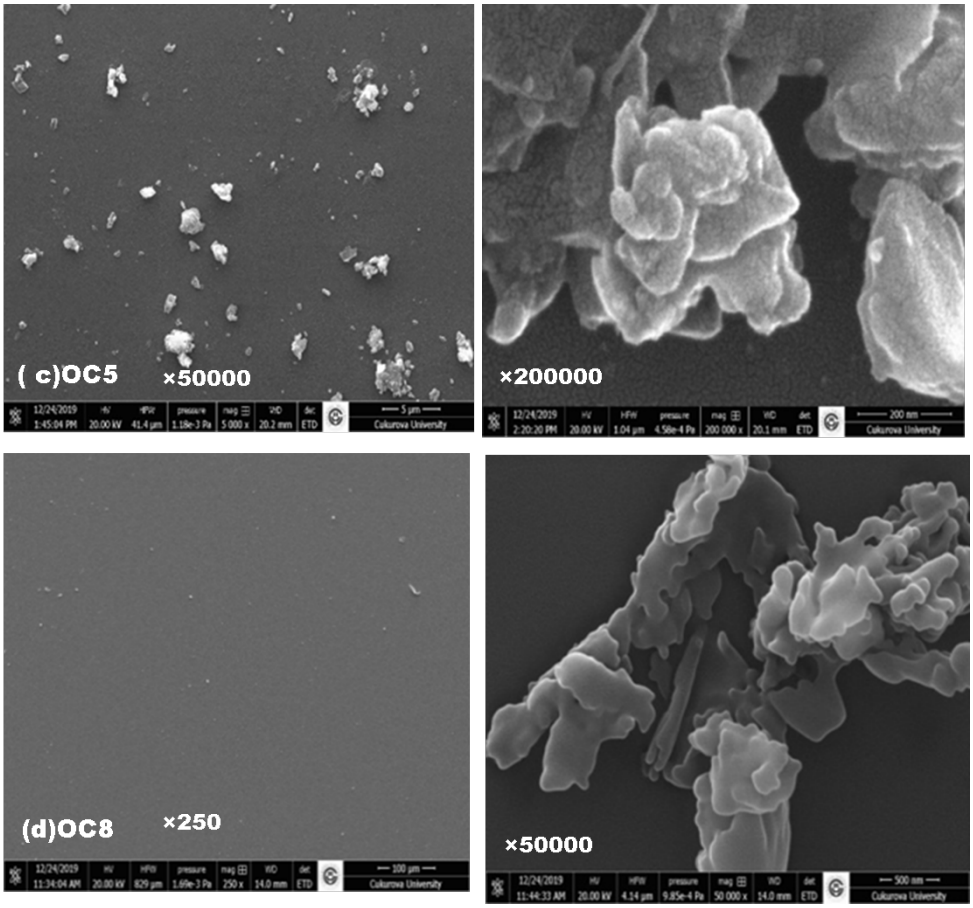
#### 4.5.2.1 DLC Kaplı Cam Alt Tabanlara Ait SEM Görüntüleri

Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40'da verilen farklı büyütmelerdeki SEM görüntülerinden nano prizma, nano duvar ve çiçek benzeri karbon nano duvar (CNW-LF) yapı kaplamalarının tüm yüzeye düzgünce dağıldığı gözlenmektedir.



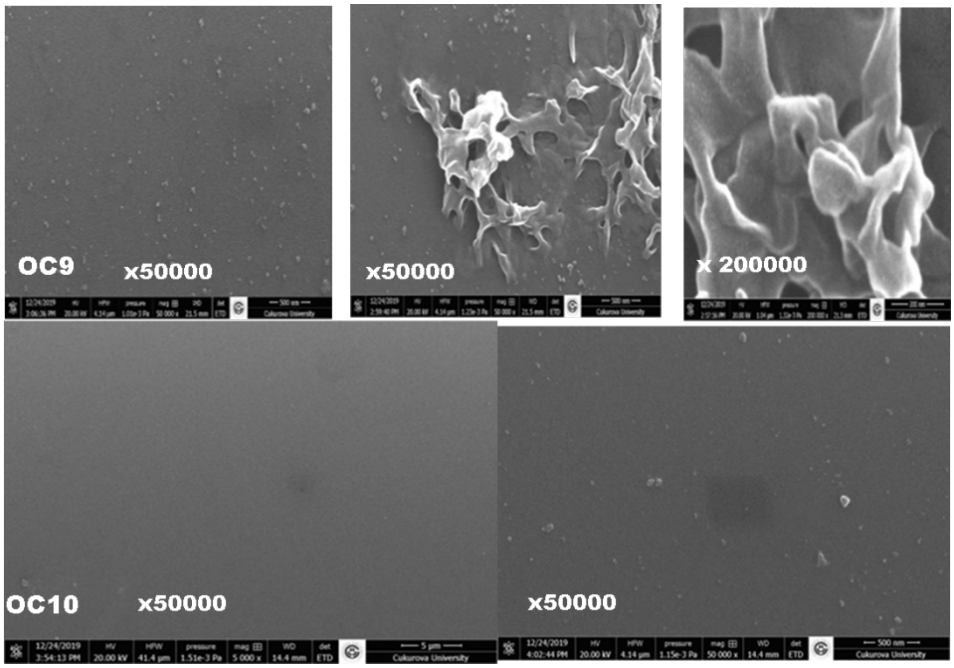

Şekil 4.36. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin SEM görüntüsü

Şekil 4.36'da SEM görüntülerindeki nano prizmalar ve AFM, Raman analizleri göz önünde bulundurularak yer yer kristal ve nano duvar yapıların oluştuğu söylenebilir. OC1 örneğinin SEM görüntüsünde nano duvar baskın ağırlıklı nano yapılar görülmektedir. OC2 örneğinde nano prizma ve nanoribbon benzeri yapılar ağırlıklıdır ve yüzey üzerinde yatay yerleşimlidirler. OC1 iyon akış enerjisinin 1000 V (1kV) olması, karbon bağlarının nano duvar yöneliminde olmasını sağlamaktadır.




Şekil 4.37. Cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin SEM görüntüsü

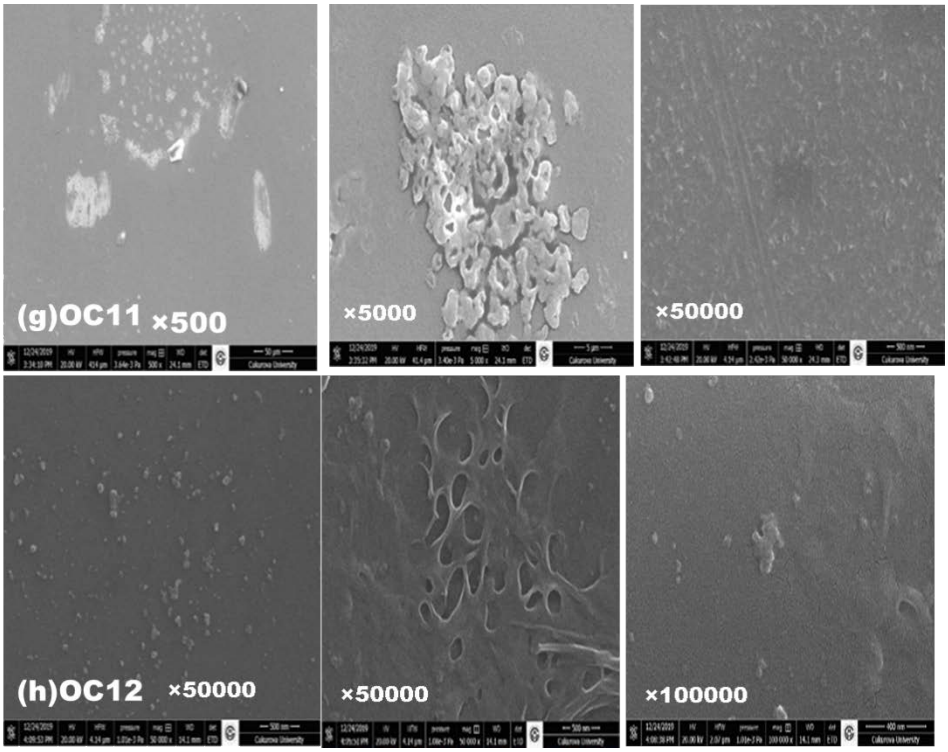
Şekil 4.37'de verilen SEM görüntülerinden, OC5' in CNW-LF yapıya (Guermoune ve Hilke, 2016), OC8'in benzer CNW-LF ve nano tüp yapıya sahip olduğu görülmektedir. CNW-LF yapıların düşey yönde büyüdüğü gözlendi. OC5' te metan akısı 6,36 sccm olduğu halde, üretim basıncı $3{,}5\times10^{-3}$ Torr civarındadır. Ayrıca taban ön gerilim etkisi daha büyük olduğundan (1000V) CNW-LF yapılar yükselme eğiliminde olmaktadır.



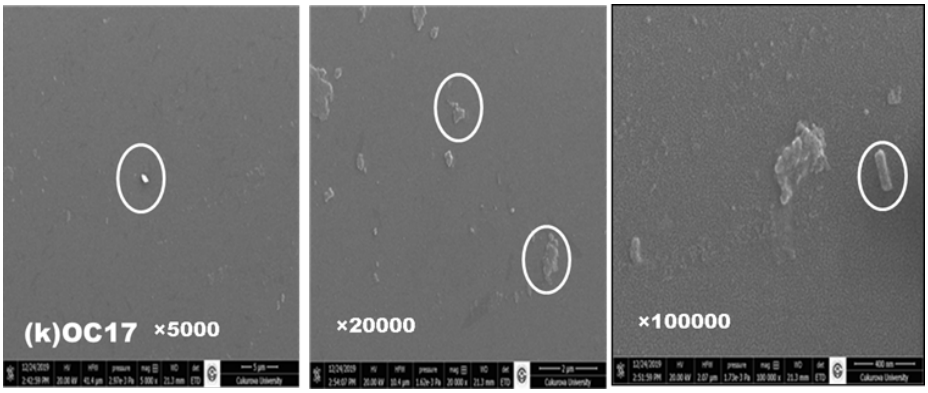

Şekil 4.38. OC9 ve OC10, cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin SEM görüntüsü

Şekil 4.38'e bakıldığında OC10 un kaplamasının homojen parçacıklardan oluştuğu görülmektedir. OC9 'da ise benzer parçacıkların yanı sıra düzensiz bir nano duvar ile CNW-LF karışımı bir yapı görülmektedir. Bu düzensizlik üretim koşullarından kaynaklı şeklin deforme olabileceğini ifade etmektedir.

Şekil 4.39'a bakıldığında OC11'in ilk görüntüsünde elmas yapısıyla benzer olduğu ve diğer görüntülerinden de yine halkalı yapıların kümelendiği görülmektedir. OC12'deki görüntünün OC9'a benzer bir yapıya sahip olduğu yani nano duvar benzeri düzensiz boşluklu yapı oluşturduğu görülmektedir.




Şekil 4.39. OC11 ve OC12, cam alt tabanlar üzerine depolanan DLC ince filmlerin SEM görüntüsü



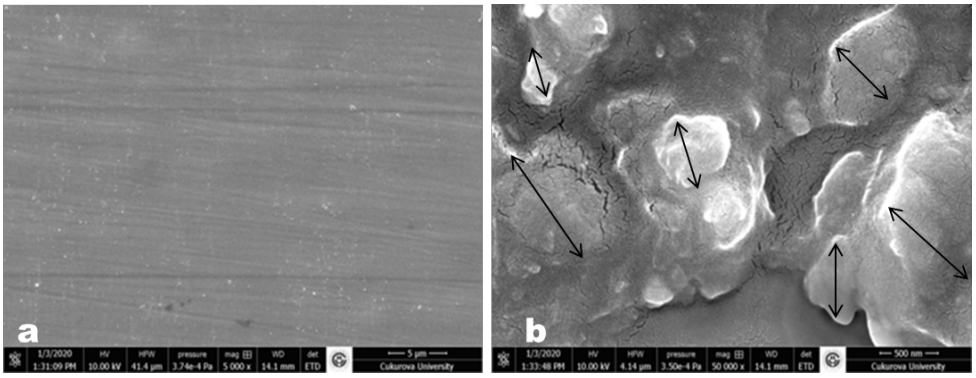

Şekil 4.40. OC17, cam alt taban üzerine depolanan DLC ince filmlerin SEM görüntüsü

Şekil 4.40'ta gözlenen nano prizmalar ve kristal yapılar Şekil 4.18'de görülen yapılara benzese de üretim şartları buradaki yapıların sayıca az olmasına ya da deforme olarak farklılaşmasına neden olmaktadır.

### 4.5.2.2 DLC Kaplı Paslanmaz Çelik Alt Tabanlar Üzerine Depolanan Ait SEM Görüntüleri

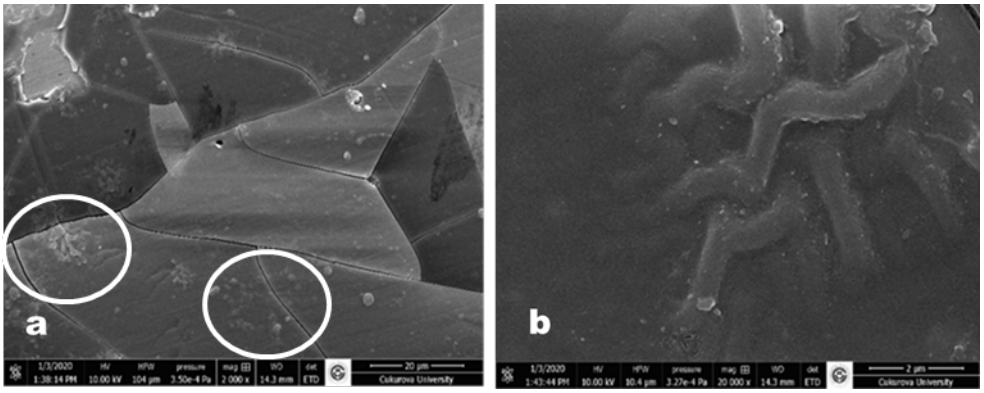
Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te paslanmaz çelik alt tabanlar üzerinde elde edilen DLC kaplamanın SEM görüntüleri görülmektedir.

Şekil 4.41'de metalin düzgün olarak kaplandığı görülmektedir. Aynı zamanda diğer görüntülerle kıyaslandığında depolama şartlarından dolayı küresel yapıların bozulduğu görülmektedir. OM2'de oluşan kümelenmeler düzgün ve mod=2.7 mm, medyan=1,77 mm, ort alt=1,50 mm, ort üst=2,47 mm şeklindedir.



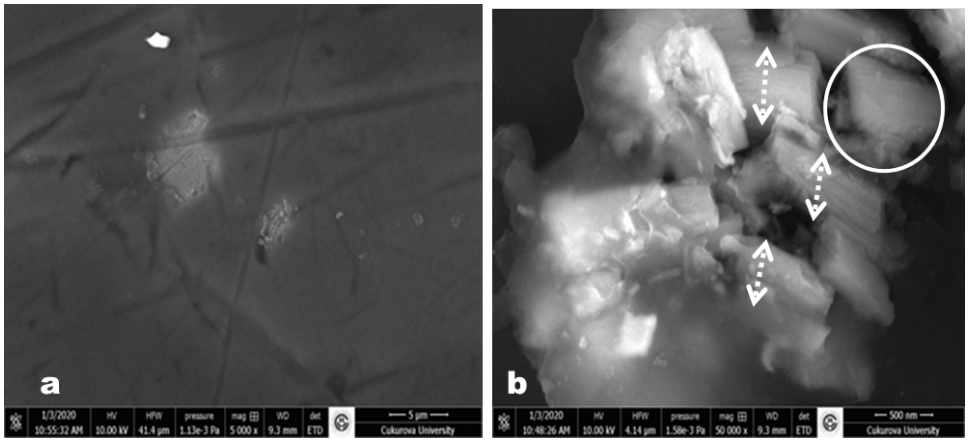

Şekil 4.41. OM2 metal alt tabanlar üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri a) 5.000 b) 50000 büyültme

Şekil 4.42'de nano duvar yapısı görülmektedir. Oluşan plakaların birleşim noktalarında tane sınırları görülmektedir.



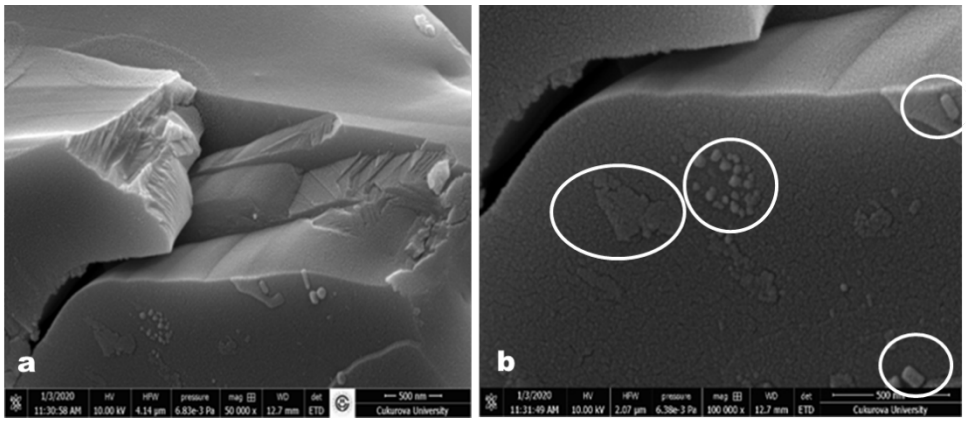

Şekil 4.42. OM3 metal alt tabanlar üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri a) x2000 b) x20000 büyültme

Şekil 4.43'de yüzeyin düzgün olarak kaplandığı, birbirini kesen düz yolların oluştuğu ve Raman sonuçları literatürle kıyaslandığında nano tüp yapıya sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.40 de OM4 in daha sert keskin nano yapılara sahip bir karbon kaplama olduğu, fakat Şekil 4.42' de verilen OM6 örneğinde ise yüzey yapılarının daha fazla yuvarlandığı, kümelenmenin baskın olduğu ve daha büyük adacık kümelenmelerinin olduğu yani dev cluster island yapıların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca buna ilave adacıkların Şekil 4.45 a)'da görülen resimde, üzerinde nano duvar yapılarıda görülmektedir. OM4'de oluşan kümelenmeler düzgün ve mod=3 mm, medyan=3,65 mm, ort alt=2,70 mm, ort üst=10,70 mm şeklindedir.




Şekil 4.43. OM4 metal alt tabanlar üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri a) x5000 b) x50000 büyültme

Şekil 4.44'de kaplamanın plakalardan oluştuğu ve plaka yüzeyinde nano prizmaların olduğu görülmektedir.

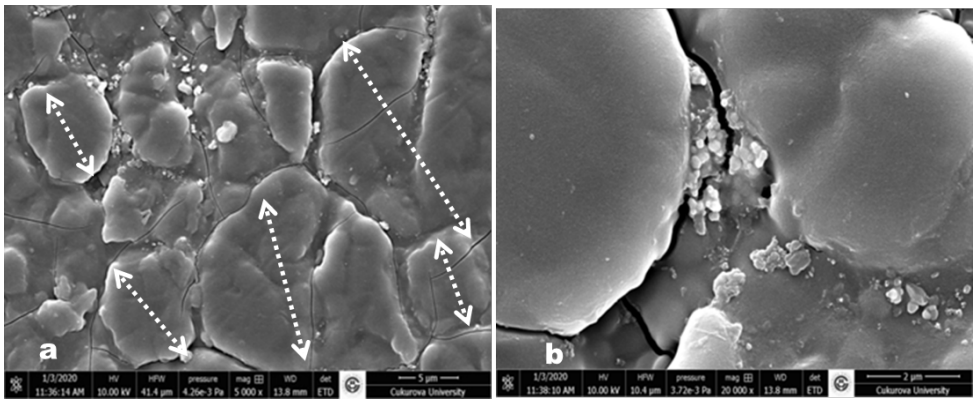



Şekil 4.44. OM5 metal alt tabanlar üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri a) 50000 b) 100000 büyültme

Şekil 4.44'de OM5'de oluşan kümelenmeler düzgün ve mod= 2.66 mm, medyan= 11,45 mm, ort alt= 2,42 mm, ort üst= 65,61 mm şeklindedir.

Şekil 4.45'te dairesel plakalar ve plaka yüzeyinde kırılmalar ve nano kürelerden oluşan yapıların meydana geldiği gözlendi. OM6'da oluşan

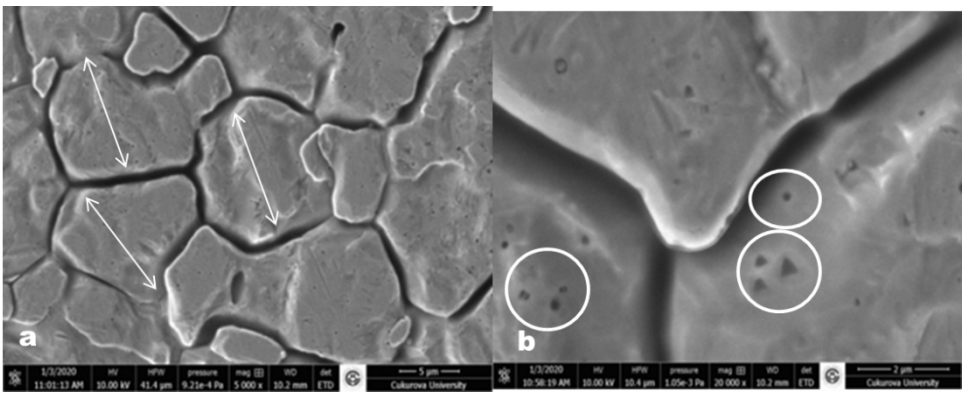
kümelenmeler düzgün ve mod=12 mm, medyan=13mm, ort alt= 11,04mm, ort üst=21,5mm şeklinde değerlere sahiptir.




Şekil 4.45. OM6 metal alt tabanlar üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri a) 5000 b) 20000 büyültme

Şekil 4.46'da görülen örneklerin SEM sonuçlarından, plakalar ve plaka yüzeyinde üçgen ve dairesel çukurların bulunduğu görüntüler elde edildi. Şekil 4.46 ve Şekil 4.43'de ECR-MP yöntemiyle farklı miktarlarda $CH_4$ içeren DLC 'nin mikro yapı SEM görüntüleri incelendiğinde, OM11 örneğin yapısında oyuklar oluştuğu görülmektedir. Oyukların oluştuğu bu bölgelerde krom'ca zengin bölgeler olduğu, alaşım içerisindeki karbon miktarının artmasıyla yapıda oluşan bu oyukların azaldığı ve tane sınırları bölgelerinde gözeneklerin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca tane sınırlarındaki gözeneklerde karbonca zengin bölgelerin olduğu AFM analizlerinde Ra ve Rq analiz sonuçları ile de desteklenmektedir. Ayrıca mikro yapı SEM görüntülerinde, matris yapıda paslanmaz çelikte ki krom alaşımının tamamen çözündüğü de anlaşılmaktadır. SEM görüntüsünde görülen bu çukur bölgelerinin CNT/DLC üçgen şeklinde bir iz göstermesine rağmen, çukur bölgelerde DLC kaplamalarının döküldüğü gözlendi. Bu sonuçlar, yukarıdaki çukurlardaki madde yapısı ile orantılıdır ve de CNT/DLC birleşik filmlerin dayanıklılığının geliştirildiğini desteklemektedir. Bir çalışmada CNT/DLC bileşim

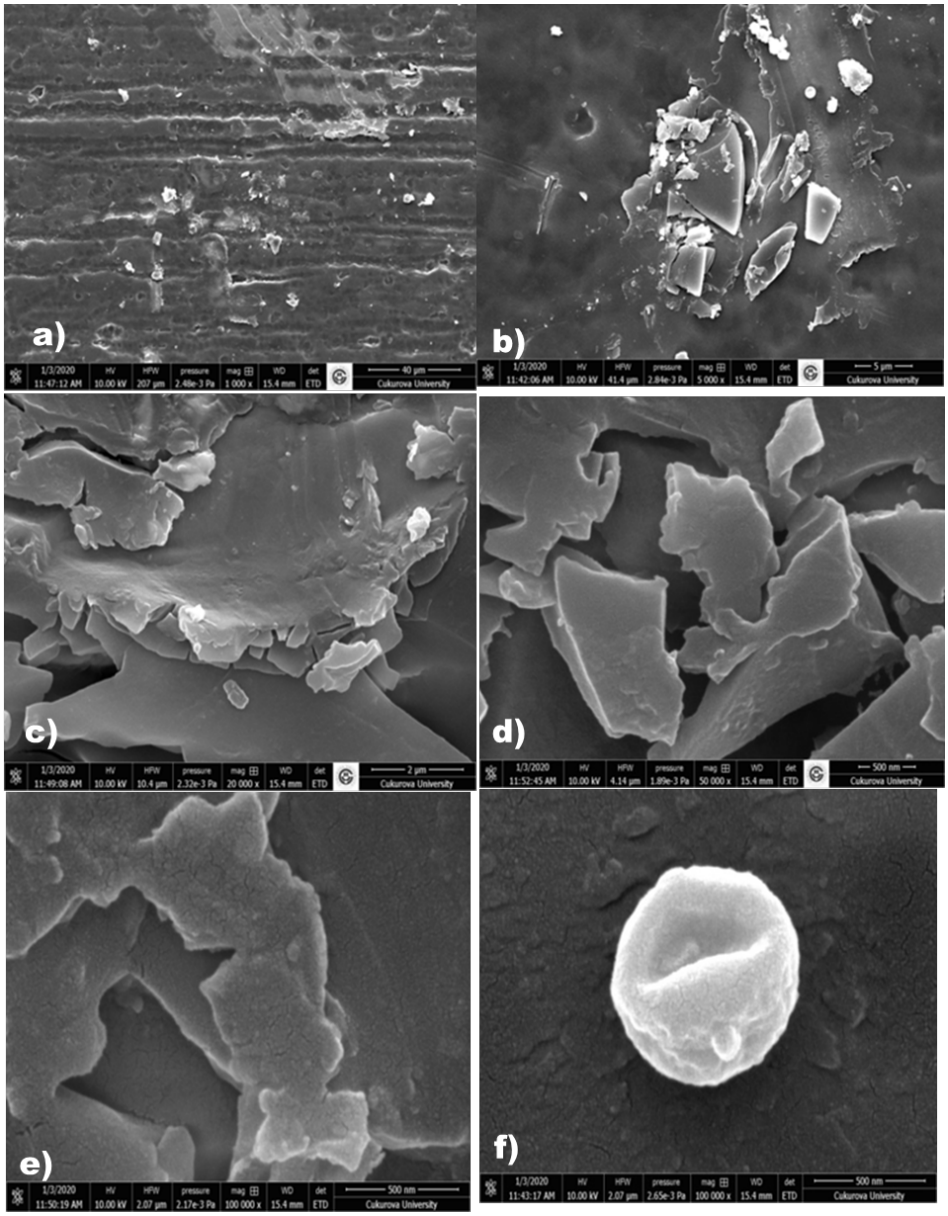
filmleri için esneklik katsayısı ve dinamik sertlik, CNT yoğunluğunun artmasıyla doğru orantılı olarak azaldı. Tüm CNT/DLC filmlerin sürtünme katsayısı DLC kaplamaları için bulunan sonuçlara yakındır (Kinoshita ve ark,2007).




Şekil 4.46. OM11 metal alt tabanlar üzerine büyütülen DLC kaplamanın SEM görüntüleri

### 4.5.2.3 DLC Kaplı Titanyum Alt Tabanlı Diş Tellerine Ait SEM Görüntüleri

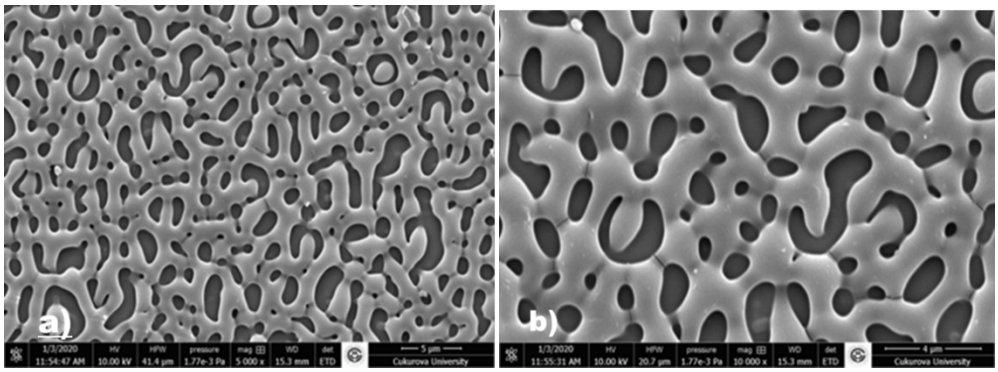
Şekil 4.47 sırasıyla 1000, 5000, 20000, 50000 ve 100000 büyültme ile ölçülen diş teli1'e ait DLC kaplamanın SEM görüntülerini göstermektedir. Kaplamanın homojen olduğu ve alt taban yüzey şeklinin büyüdüğü söylenebilir. Kaplama yüzeyinde nano nokta yapıların olduğu görülmektedir.




Şekil 4.47. DLC kaplı diş teli1 örneğine ait SEM görüntüleri

### 4.5.2.4 DLC Kaplı Silisyum Alt Tabanlara Ait SEM Görüntüleri

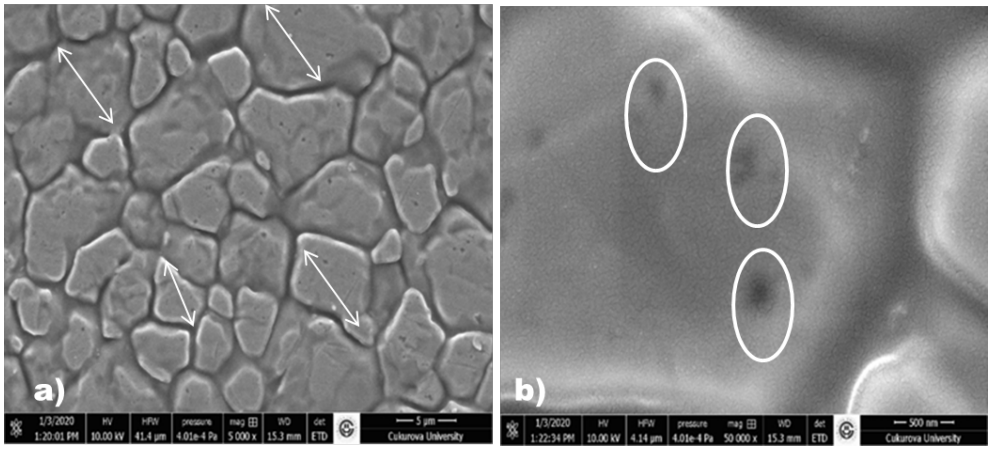
Silisyum alt taban üzerine büyütülen OSi1'e ait DLC kaplamanın Şekil 4.48'de görülen SEM görüntüsünde, kaplamanın her yerine düzgün dağılmış yer yer çatlaklıklardan oluşan nano duvarlar görülmektedir. Şekil 4.48 silisyum alttaban üzerinde üretilen yüzeyde nanoduvar yapılar açık bir şekilde görülmektedir.



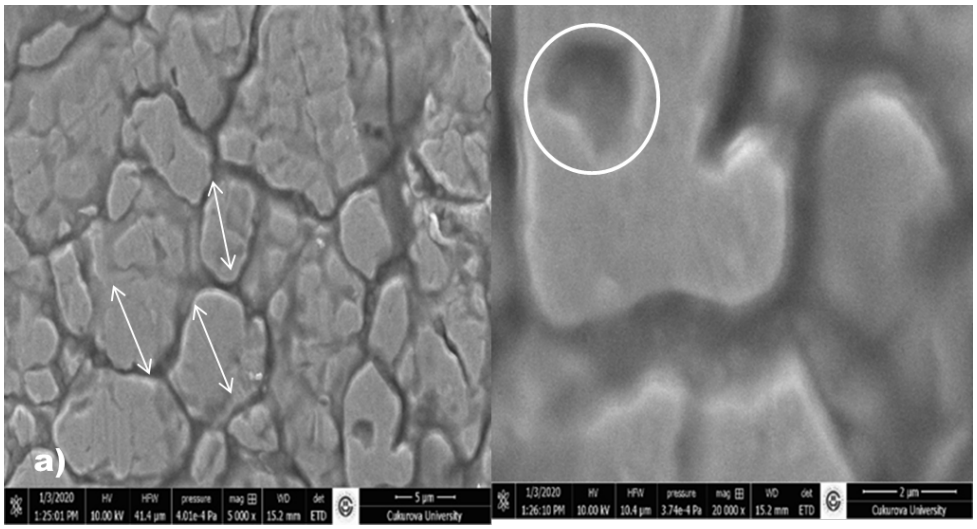

Şekil 4. 48. Silisyum alt taban üzerine büyütülen OSi1 örneğine ait DLC kaplamanın SEM görüntüsü a) 5000 b) 10000 büyültme

### 4.5.2.5 DLC Kaplı Alüminyum Alt tabanlara Ait SEM Görüntüleri

Alüminyum alt tabanlara ait Şekil 4.49 ve Şekil 4.4.50'de görülen SEM görüntülerine bakıldığında titanyum ve paslanmaz çelik gibi metal yüzeylerde de görülen nano duvarlar, çatlaklar ve plakalar halinde olan büyümeler görülmektedir. Şekil 4.49 asitle aşındırma ve tavlamanın etkisi ile kaplama yüzeyin de Şekil 4.50'de görülen Al2 den farklı olarak delikler oluştu. Şekil4.46'da görülen gözenekli yapı Şekil 4.50'de de gözlenmiş olup, gözenekler daireseldir. Benzer durum burada da söz konusu olmaktadır. Alüminyum olan alt tabanın alaşım yoğunluğu gözenekli yapıya sebep olmaktadır. Büyümenin plakalar halinde oluştuğu, Şekil 4.49'da görülen örneğin asitle aşındırılmasından kaynaklı Şekil 4.50'ye nazaran plakalarının daha küçük olduğu gözlenmektedir.




Şekil 4.49. Al1 örneğine ait DLC kaplamanın SEM görüntüsü a) 5000 b) 50000 büyültme




Şekil 4.50. Al2 örneğine ait DLC kaplamanın SEM görüntüsü a) 5000 b) 20000 büyültme

### 4.5.3 Vickers Yüzey Sertlik Ölçüm Sonuçları

Kaplamasız ve $CH_4$ paslanmaz çelik numunede Ç.Ü Diş Hekimliği Fakültesi laboratuvarında bulanan Vickers sertlik ölçüm cihazıyla yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 4.18'de verildi.

Çizelge 4.18. Kaplamasız ve $CH_4$depolanan paslanmaz çelik numunede Vickers yüzey sertlik ölçüm sonuçları

| | Gaz Akış (sccm) | | İyon E. (kV) | Uygulanan Yük | Vickers Sertlik (HV) |
|---|---|---|---|---|---|
| Örnek adı | $N_2$ | $CH_4$ | | 2kg | 561,1 (köşe)<br>680,9 (orta) |
| OM12 | 1,92 | 4,67 | 0,9 | (2000gf) | 458,8 (köşe) |
| Kaplamasız | - | - | - | 2kg (2000gf) | 268,6 (orta) |
| OM13 | 2 | 4,90 | 1,3 | 2kg (2000gf) | 468,8 (orta) |

Çizelge 4.18'de listelene verilere bakıldığında DLC kaplamanın paslanmaz çeliğin sertlik değerini iki katından daha fazla arttırdığı saptandı. OM12 örneğinde maksimum sertlik değerleri elde edildi. Karbon bazlı malzemelerin sertliği genellikle karbonun kısa ve güçlü ($sp^3$) bağından etkilenir. Dolayısıyla, artan sertlik, artan $sp^3/sp^2$ oranının sonucudur (Zhang ve Shao 2008). Optimum miktardaki $N_2$ ve $CH_4$ oranlarının, OM12 örneğinin yüksek sertliğine yol açtığı gözlendi.

Şekil 4.51. Vickers sertlik ölçüm cihazı mikroskop görüntüsü

Şekil 4.51'de görülen sertlik izinin sağ ve sol köşe değerlerine çizgi getirilerek ölçüm alınır. Uygulan yük (P), yatay köşegen uzunluğu (T) ve elmas ucun açısı (136°) ile Vickers sertlik değeri (HV) ölçülür. HV değeri $HV = 1.854 * P/T2$ formülü ile bulunur.

# 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

AFM görüntüleri incelendiğinde cam yüzey baskın yapılarının nano duvar, nano nokta, CNW-LF, nano prizmalar olduğu görülmektedir. Farklı üretim parametrelerin yüzey morfolojileri üzerinde etkilerinin incelenmesinin yanı sıra parametreler de ayrı ayrı incelenerek hangi parametrenin ne tür yüzey değişimine yol açtığı belirlendi. Cam alt tabanlı yüzeylerin AFM, Raman, optik, SEM, XRD analizleri yapıldı ve karbon yapılarda görünen ortak optik ve yapısal karakteristikler gözlendi. Bu örneklerin optik görüntüleri de mikro elmas kristalcikleri belirgin olarak gözlenmiştir. Farklı alt taban üzerine büyütülen örnekler için genel olarak XRD, SEM, AFM, UV-VIS, Raman ve sertlik analizleri yapıldı. Bu alt tabanlar üzerine büyütülen nano yapılar incelenerek tribolojik özelliklere yaptığı olumlu katkılar belirlendi. Böylece medikal cihazlar,implantlar ve motor parçalarının aşınmaya dayanımının ECR-MP kaplama tekniğiyle arttırılabileceği tribolojik özellikleri incelenerek bulundu. Silisyum yüzeyler üzerinde yapılan incelemelerde nano duvar yapılar çok net bir şekilde gözlenmiş olup, ayrıca ön gerilim ve iyon enerjisi gibi üretim parametrelerine bağlı olarak yüzey büyüme sürecinin nasıl değiştiği izlendi.

Geçirgenlik eğrileri ve yasak enerji aralık değerleri film kalınlığının azalması ile artmaktadır. OC12'nin $E_g$ değeri 4,9 eV olması yasak enerji aralığında π-π• elektronik geçişlerinin olduğunu gösterirken $sp^2$ bağları amorf karbonu ve iç içe geçmiş karbon katmanlarını göstermektedir.

İnce filmlerin optik yasak enerji aralığını gösteren bir çalışmada, MIES (metastable induced electron spectroskopy) yöntemi kullanılarak üretilen, büyük oranda düzenli pirolotik karbon filmlerde elde edilen valans bant yapısı karbon filmlerin enerjiye göre DOS (durum yoğunluğu) belirlenmiş ve yaklaşık 3eV dan yukarı değerlerde valans bant yapısının lokal maksimumlar gösterdikten sonra arttığı gözlendi. Bu durumda Şekil 4.7'de $E_g$ belirlenmesinde elde edilen 4,9 eV gibi değerlerin nedeni ikinci soğurma bölgesinden kaynaklı olduğu sonucu

çıkarılabilir. Valans ve iletim bandının geçişlerinin başlangıç enerji değeri çok ince filmlerde düşük soğurma oluşturması nedeniyle belirlenememekte buna karşılık yerel DOS maksimumundan sonraki ikinci yükseliş bölgesi (yüksek soğurma katsayısından dolayı) gözlenmektedir. (Benjamin A.C ve ark.,2017)

Elde edilen sonuçlar ışığında aşağıda belirtilen yöntemleri uygulayarak pürüzlülük, aşınma, sertlik, anti bakteriyel özellik ve yüzeyde oluşan yapılar (CNT, CNW, DLC) üzerinde ki etkiyi arttırmak hedeflenmektedir.

- ✓ Taban ısıtma ve tavlamanın kaplama üzerindeki etkisi araştırılabilir.
- ✓ Elektrik alan altında yönlendirilen plazmanın kaplama üzerindeki etkisi incelenebilir.
- ✓ Taban soğutma uygulanabilir.
- ✓ Medikal cihazlarda anti bakteriyel özelliği arttırmak için DLC ye farklı madde katkılana bilir (Molibden katkılı DLC …).
- ✓ CNW, CNT yapılarının oluşum aşamaları daha iyi gözlenebilir.
- ✓ ECR yöntemi ile üretilen filmlerin elektriksel özellikleri (p tipi, n tipi) araştırılabilir.

**KAYNAKLAR**


A. Grill, “Diamond-like carbon: state of the art”, Diamond and Related Materialsn Volume 8, Issues 2–5, March 1999, Pages 428-434

Ahmed Al-Jumaili, Surjith Alancherry, Kateryna Bazaka, and MohanV. Jacob Review on the Antimicrobial Properties of Carbon Nanostructures

Aytutuldu, Titanyum Yüzeyler Üzerindeki Elmas Benzeri Karbon Kaplamanın Mikrobiyolojik ve Biyokimyasal Açıdan Etkinliğinin İncelenmesi Doktora Tezi

Benjamin AChambers, C Neumann, Andrey Turchanin, Christopher T Gibson and Gunther G Andersson, The direct measurement of the electronic density of states of graphene using metastable induced electron spectroscopy, 2D Mater. 4 (2017) 025068

Brezeanu, G. 2005. "Silicon carbide (SiC): a short history. Ananalytical approach for SiC power device design." In CAS 2005 Proceedings. 2005 International Semiconductor Conference, 2005., 345-48. IEEE.

Casiraghi, C, AC Ferrari, and J %J Physical Review B Robertson. 2005. 'Raman spectroscopy of hydrogenated amorphous carbons', 72: 085401.

Champı, A, Marques, F.C., "Thermal expansion coefficient, mechanical and structural properties of hydrogenated carbon nitrides". Diamond and Related Materials, 25, 124-127. 2012.

Charitidis, CA %J International Journal of Refractory Metals, and Hard Materials. 2010. 'Nanomechanical and nanotribological properties of carbon-based thin films: a review', 28: 51-70.72

Chu K. P., Li L., Characterization of amorphous and nanocrystalline carbon films Material Chemistry and Physics, 2006, 96: 253-277.

Cui, J, Rusli, SF Yoon, EJ Teo, MB Yu, K Chew, J Ahn, Q Zhang, T Osipowicz, and F %J Journal of Applied Physics Watt. 2001. 'Effect of radio-frequency bias voltage on the optical and structural properties of hydrogenated amorphous silicon carbide', 89: 6153-58.

Delhaes, Pierre. Carbon-based solids and materials (John Wiley & Sons)., 2013.

Durand-Drouhin, O, M Lejeune, and M %J Journal of applied physics Benlahsen. 2002. 'Growth and bonding structure of hard hydrogenated amorphous carbon thin films deposited from an electron cyclotron resonance plasma', 91: 867-73.

Fecht, Hans J, and Kai Brühne. 2016. Carbon-based nanomaterials and hybrids: synthesis, properties, and commercial applications (Pan Stanford).

Folea, Milena, Adriana Roman, and Nouraş-Barbu %J Academic journal of manufacturing engineering Lupulescu, 2010. 'An overview of DLC coatings on cutting tools performance', 8: 30.73

Guo, Jianhui, Jingwei Zhang, Chuang Zhao, Jiwei Zhang, and Zhijun %J Applied Surface Science Zhang. 2011. 'Influence of temperature on structure as well as adhesion and friction and wear behavior of hydrogenated carbon nitride films prepared on silicon substrate', 258: 791-99.

Gorbatkin et al. SM Gorbatkin, DB Poker, C. Doughty, vd., Vac. Sci. Technol. B 14 1853 (1996).

Hao, Junying, Tao Xu, and Weimin %J Journal of non-crystalline solids Liu. 'Effect of deposition pressure on microstructure and properties of hydrogenated carbon nitride films prepared by DC-RF-PECVD', 351: 3671-76.(2005).

Harris, Gary Lynn. Properties of silicon carbide (Iet), (1995).

Hong, S.; Myung, S., Nanotube Electronics: A flexible approach to mobility. Nat Nano 2007, 2 (4), 207-208. 14.

Hopper, AP, JM Dugan, AA Gill, EM Regan, JW Haycock, S Kelly, PW May, F %J Materials Science Claeyssens, and Engineering: C. 2016. 'Photochemically modified diamond-like carbon surfaces for neural interfaces', 58: 1199-206.

Hosson JD. “Dutch Reserach Database: Surface and Interface Engineering”, http://www.onderzoekinformatie.nl/en/oi/nod/onderzoek/OND1300702/, (2007).

Huang, Xiaohua, and Mostafa A %J Alexandria journal of medicine El-Sayed. 2011. 'Plasmonic photo-thermal therapy (PPTT)', 47.

Hua Pangа∗, Xingquan Wangc, Guling Zhangd, Huan Chena, Guohua Lva, Size Yanga, b Characterization of diamond-like carbon films by SEM, XRD and Raman spectroscopy

Jameel, Dler Adil %J International Journal of Modern Physics, and Applications. 2015. 'Thin film deposition processes', 1: 193-99.74

Kesik B. 2011, Elektron siklotron rezonans mikrodalga plazma (ECR-MP) sistemi ile yarıiletken karbon bileşiklerinin üretilmesi ve karakterizasyonu, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezi, Adana, 81s.

Kittel, C. 2005. "Int.to Solid State Physics, 8th edn., Maruzen." In.: John Wiley & Sons, Inc., New York.

Kleinsorge, B, SE Rodil, George Adamopoulos, J Robertson, D Grambole, W %J Diamond Fukarek, and related materials. 2001. 'Hydrogen and disorder in diamond-like carbon', 10: 965-69.

Lagrını, A., Charvet, S., Benlahsen, M., Debıemme-Chouvy, C., Deslouıs, C., Cachet, H., 2005. Microstructure and electronic investigations of carbon nitride films deposited by RF magnetron sputtering. Thin Solid Films, 482:41-44.

Lee, Huijea, Seong Bong Kim, Changho Yi, Seungil Park, Suk Jae Yoo, Moohyun Cho, Won %J Plasma Sources Science Namkung, and Technology. 2015. 'Electron cyclotron resonance plasma source with belt-type magnet assembly and slit antennas', 24: 015031.

Lei, YM, YH Yu, CX Ren, SC Zou, DH Chen, SP Wong, and IH %J Thin Solid Films Wilson. 2000. 'Compositional and structural studies of DC magnetron sputtered SiC films on Si (111)', 365: 53-57

López, Rosendo, Ricardo %J Journal of sol-gel science Gómez, and technology. 2012. 'Band-gap energy estimation from diffuse reflectance measurements on sol–gel and commercial TiO 2: a comparative study', 61: 1-7.

Mattox, Donald M. 2010. Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing (William Andrew).76

Mehmet Akif Azder, Çok Tabakalı Grafenin Azot KatkılanmasıTransferi ve Pem Yakıt Pilinde Kullanımının Çalışılması; Yüksek LisansTezi, RecepTayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize-2017

M.S. Dresselhausa∗, G. Dresselhausb, R. Saitoc, A. Joriod, Ramanspectroscopy of carbon nanotubes, Physics Reports 409 (2005) 47–99

Mohamed, S.H., El-Hossary, F.M., Gamal, G.A., Kahlıd, M.M., 2010. Optical properties of plasma deposited amorphous carbon nitride films on polymer substrates. Physica B: Condensed Matter, 405:254-257.

Mohan Gokhale, Madhura, and Rakesh %J Mini-Reviews in Organic Chemistry Ravindra Somani. 2015. 'Fullerenes: Chemistry and its Applications', 12: 355-66.

N-H. Cho, K. M. K., D. K. Veirs, M. D. Rubin, C. B. Hopper, B. Bhushan and D. B. Bogy Chemical structure and physical properties of diamond-like amorphous carbon films prepared by magnetron sputtering. Journal of Materials Research 1990, 5, 2543-2554.

N. P. Poluektov, V. N. Kharchenko, and I. G. Usatov, Ionization of Sputtered Metal Atoms in a Microwave ECR Plasma Source, Plasma Physics Reports, Vol. 27, No. 7, 2001, pp. 625–633.

Othman, M., Ritikos, R., Khanis, N.H., Abdul Rashid, N.M., Abdul Rahman, S., Ab Gani, A.M., Muhamad, M.R., 2011. Effects of rf power onthe structural properties of carbon nitride thin films prepared by plasma enhanced chemical vapour deposition. Thin Solid Films, 519:4981-4986.

Pal'Yanov, Yu N, AG Sokol, Yu M Borzdov, AF Khokhryakov, and NV %J Nature Sobolev. 1999. 'Diamond formation from mantle carbonate fluids', 400: 417.

Preshaw PM, Hefti AF, Novak MJ. Subantimicrobial dose doxycycline enhances the efficacy of scaling and root planing in chronic periodontitis: a multicenter trial. J Periodontol 2004;75(8):1068-1076

R. Kar, N.N. Patel, S. Sinha1, 2018, Raman spectroscopic investigations of carbon nanowalls

R. Kar, N.N. Patelb, S.S. Chopadea, S. Mukherjeea, A.K. Dasa and D.S. Patila, 2014, Bias-independent growth of carbon nanowalls by microwave electron-cyclotron resonance plasma CVD

Robertson, Gordon L. 2005. Food packaging: principles and practice (CRC press).

Robertson, John %J Materials science, and engineering: R: Reports. 2002. 'Diamond-like amorphous carbon', 37: 129-281.

Sanchez, NA, C Rincon, G Zambrano, H Galindo, and P %J Thin Solid Films Prieto. 2000. 'Characterization of diamond-like carbon (DLC) thin films prepared by rf magnetron sputtering', 373: 247-50.

Savaş Yağlıkçı, Karbon Nanotüp Üretiminde Katalizörün Gaz Fazı Derişim Profiline Etkisinin İncelenmesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Ankara 2012

Schmidt, H, ER Fotsing, G Borchardt, R Chassagnon, S Chevalier, and M %J Applied Surface Science Bruns. 2005. 'Crystallization kinetics of amorphous SiC films: Influence of substrate', 252: 1460-70.

Schwarz, Florian P, Irmgard Hauser-Gerspach, Tuomas Waltimo, Bernd %J Surface Stritzker, and Coatings Technology. 2011. 'Antibacterial properties of silver containing diamond like carbon coatings produced by ion induced polymer densification', 205: 4850-54.

Shaker, Ahmed, and Abelhalim %J. Electron Devices Zekry. 2010. 'A new and simple model for plasma-and doping-induced band gap narrowing', 8: 293-99.

Stamate, Marius D %J Applied Surface Science. 2001. 'Strong dependence of IR absorption in a-SiC: H dc magnetron sputtered thin films on H2 partial pressure', 172: 47-50. Takehiro et al. 1991

Stuart F Cogan, David J Edell, Andrew A Guzelian, Ying Ping Liu, and Robyn Edell. Plasma-enhanced chemical vapor deposited silicon carbide as an implantable dielectric coating. Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials, 67(3):856–867, 2003.

The Australian Society for Biomaterials, and the Korean Society for Biomaterials. 2003. 'Plasma enhanced chemical vapor deposited silicon carbide as an implantable dielectric coating', 67: 856-67.

T. Itoh, S. Shimabukuro, S. Kawamura, and S. Nonomura, Preparation and electron field emission of carbon nanowall by Cat-CVD, Thin Solid Films. 501 (2006), pp. 314–317

Tyagi, AK, and Srikumar Banerjee. 2017. Materials Under Extreme Conditions: Recent Trends and Future Prospects (Elsevier).

Weiser, Milligan. J. Phys. Chem.38 (1934) 517, Crystallographic Laboratory, Cambridge, England, UK. Private Communication

Wu J. B., Chang J. J., Li M. Y., Leu M. S., Li A. K. 2007, Characterization of diamond-likecarbon coatings prepared by pulsed bias cathodic vacuum arc deposition. Thin Solid Films,516: 243-247.

Yasser Zare Kyong Yop Rhee, A simple and sensible equation for interphase potency in carbon nanotubes (CNT) reinforced nanocomposites, Journal of Materials Research and Technology Volume 9, Issue 3, May–June 2020, Pages 6488-6496

Yang, ZW, SH Han, TL Yang, Lina Ye, DH Zhang, HL Ma, and CF %J Thin Solid Films Cheng. 2000. 'Bias voltage dependence of properties for depositing transparent conducting ITO films on flexible substrate', 366: 4-7.

Yeo, Reuben Jueyuan. 2017. Ultrathin Carbon-Based Overcoats for Extremely High Density Magnetic Recording (Springer).

Yoon, J. H., Jee, Y. K. and Lee, S. Y.1999 Plasma Paste Boronizing Treatment of the Stainless

Steel AISI 304, Surface and Coatings Technology, 112 71- 75.

Zhang, Wei, Akihiro Tanaka, Koichiro Wazumi, Yoshinori %J Diamond Koga, and related materials. 2002. 'Structural, mechanical and tribological properties of diamond-like carbon films prepared under different substrate bias voltage', 11: 1837-44.

Z. Seker, H. Ozdamar, M. Esen, R. Esen, H. Kavak, The effect of nitrogen incorporation in DLC films deposited by ECRMicrowave Plasma CVD

## ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Adana' da doğdu. 2005 yılında Selçuk Özsoy Çok Progrmlı (Y.D.A.L) Lisesinden mezun oldu (Didim/AYDIN). 2011 yılında Akdeniz Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümünden mezun oldu. 2017 yılında Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümünde Yüksek Lisans Öğrenimine başladı ve eğitimine devam etmektedir. 2013 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Pedagojik Formasyon programını tamamladı. 2017 yılında Türk İşaret Dili, 2018 yılında Türk İşaret Dili Öğretici ve Tercümanlığı Eğitimi Kursu ve 2020 yılında XRD Eğitim Sertifikası programlarını tamamladı.