



NSTECH

Tasarım

İmalat

Montaj

Kurulum

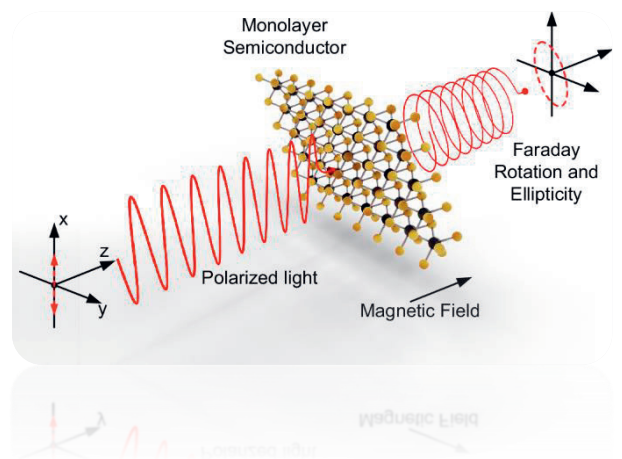
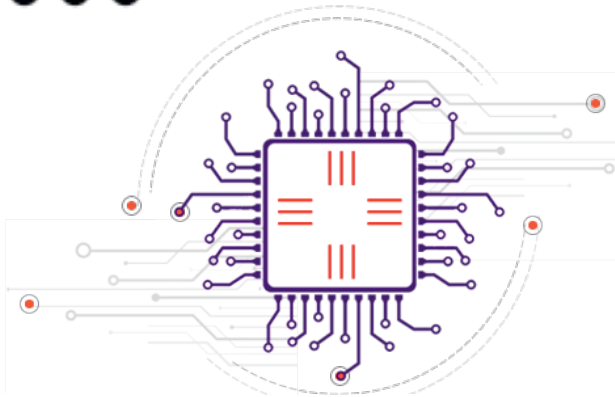
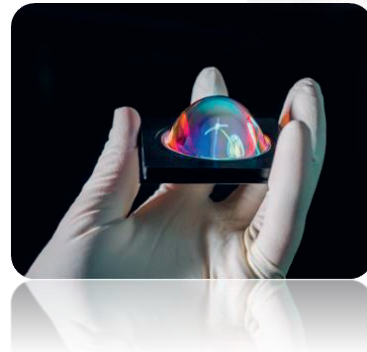
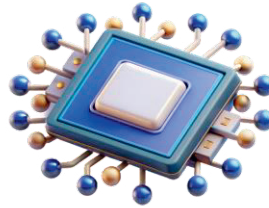
Projelendirme

Otomasyon

Yazılım

Dokümantasyon

ALD Teknolojisinin Uygulama Alanları



ALD Atomic Layer Deposition

Yöntemi ile Üstün Yetenekli Kaplama
Teknolojisi

Angstrom seviyesinde kalınlık kontrolü

ALD
İnce Film Biriktirme / Thin Film Coating
Yöntemlerinden biridir ve Atomik
Seviyede Kalınlık Kontrolü sağlayarak
son derece ince, homojen ve pürüzsüz
filmler oluşturur

ALD Atomic Layer Deposition

Yöntemi ile Üstün Yetenekli Kaplama
Teknolojisi

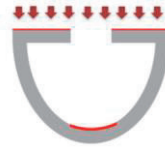
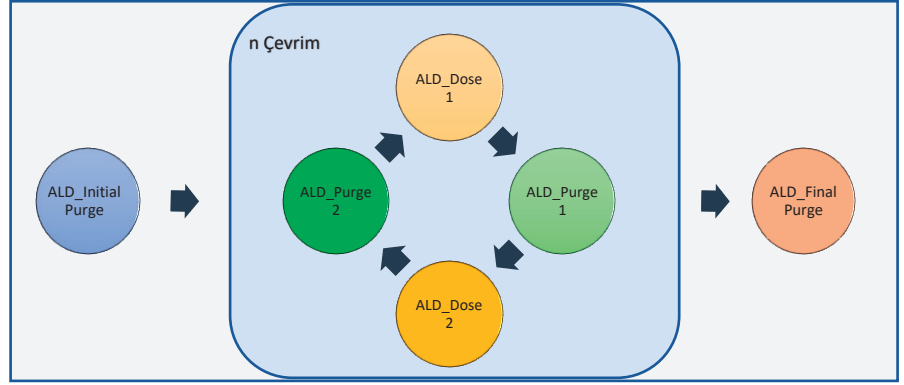
Angstrom seviyesinde kalınlık kontrolü

ALD
İnce Film Biriktirme / Thin Film Coating
Yöntemlerinden biridir ve Atomik
Seviyede Kalınlık Kontrolü sağlayarak
son derece ince, homojen ve pürüzsüz
filmler oluşturur

ALD Yüzey kontrollü bir yöntem olması ile;

- Angstrom seviyesinde kalınlık kontrolü
- Geniş yüzeylerde **kalınlık istikrarı**.
- **3 Boyutlu yüzeylerde** ince film biriktirme.
- Homojen film biriktirme.

Aynı zamanda **düşük sıcaklıklar ile** çalışma imkanı.



PVD Tekniği



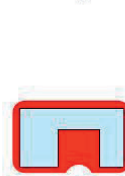
ALD Tekniği



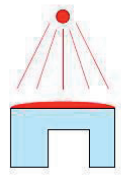
ALD'nin Temel Üstünlüğü

Properties	PVD	CVD	ALD
Conformity	< 50%	< 70%	100%
Temp. Range	Low	Low	Wide
Technology	~100 nm	~90-65 nm	No Limit

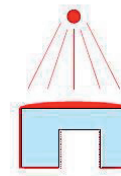
Coating thickness uniformity with different methods



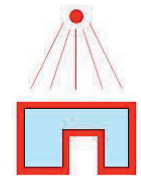
Liquid phase
process
(sol-gel)



Source
controlled
gas phase
process
(PVD)



Semi-surface
controlled
gas phase
process
(CVD)



Surface
controlled
gas phase
process
(ALD)

ALD

Teknolojisiyle
Endüstride Yüksek
Hassasiyetli Kaplama
Reaktörü

İşinize Özel

Esnek Tasarım ve Yazılım
Çözümleri

SUNUYORUZ

ALD

Atomic Layer Deposition

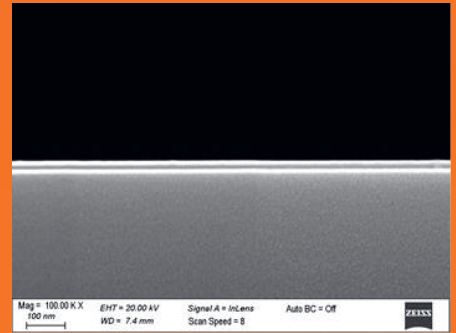
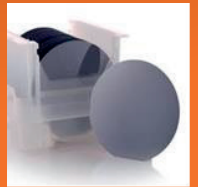
Yöntemi ile Üstün Yetenekli Kaplama

Esnek Tasarım ve Yazılım Çözümleri
SUNUYORUZ



ALD

İnce Film Biriktirme / Thin Film Coating
Yöntemlerinden biridir ve Atomik Seviyede Kalınlık
Kontrolü sağlayarak
son derece ince, homojen ve pürüzsüz filmler
oluşturur



200 Çevrim Al_2O_3 Kaplama
SEM görüntüsü

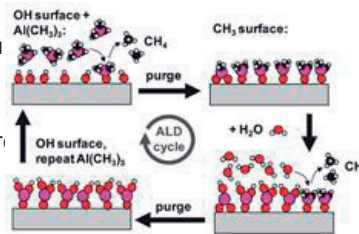


ALD Teknolojisi

İnce Film Biriktirme / Thin Film Coating Teknolojisi

ALD Reaktör ile Yüzey Kaplama

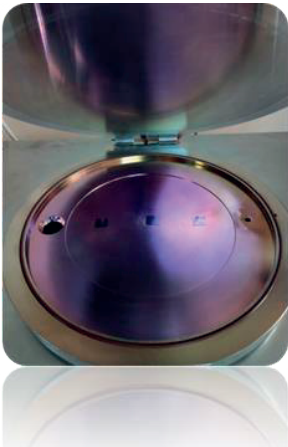
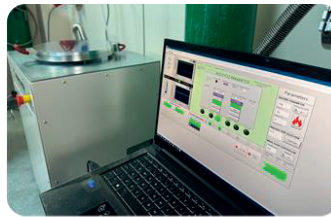
- Otomasyon Seçenekleri**
 - HMI Panelli PC-PLC kontrol ile kullanıcı dostu arayüz.
 - Esnek yazılım entegrasyonu ile proses yönetimi.
- Gelişmiş Proses Döngüleri**
 - Standart ALD döngüleri.
 - SVM (Sequential Vapor Mixing) döngüleri.
 - Doped ALD döngüleri ile katkılı malzeme sentezi.
- Veri Yönetimi**
 - Proses sırasında gerçek zamanlı veri kaydı ve analiz imkanı.
- Hassas Kontrol Sistemleri**
 - Reaktör, gaz hattı ve öncüller için PID tabanlı hassas sıcaklık kontrolü (isteğe bağlı)
 - Yüksek hızlı ALD vanaları ile kesin gaz akış kontrolü
- Ölçeklenebilir Tasarım:**
 - 200 mm substrat boyutu (müşteri ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir)



NSTECH ALD sistemi

Tek pencerede kolay kullanım için geliştirilen bir arayüze sahiptir.

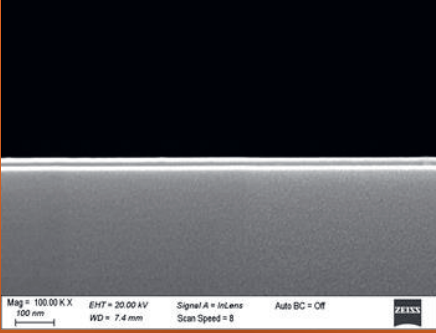
Çevrim parametre seçimi, sıcaklık ve basınç takibi, veri kayıt fonksiyonları aynı pencereden erişilebilmekte, Reçetelendirme yapılabilir.



ALD Atomic Layer Deposition

Yöntemi ile Üstün Yetenekli Kaplama
Teknolojisi

Angstrom seviyesinde
kalınlık kontrolü



Esnek

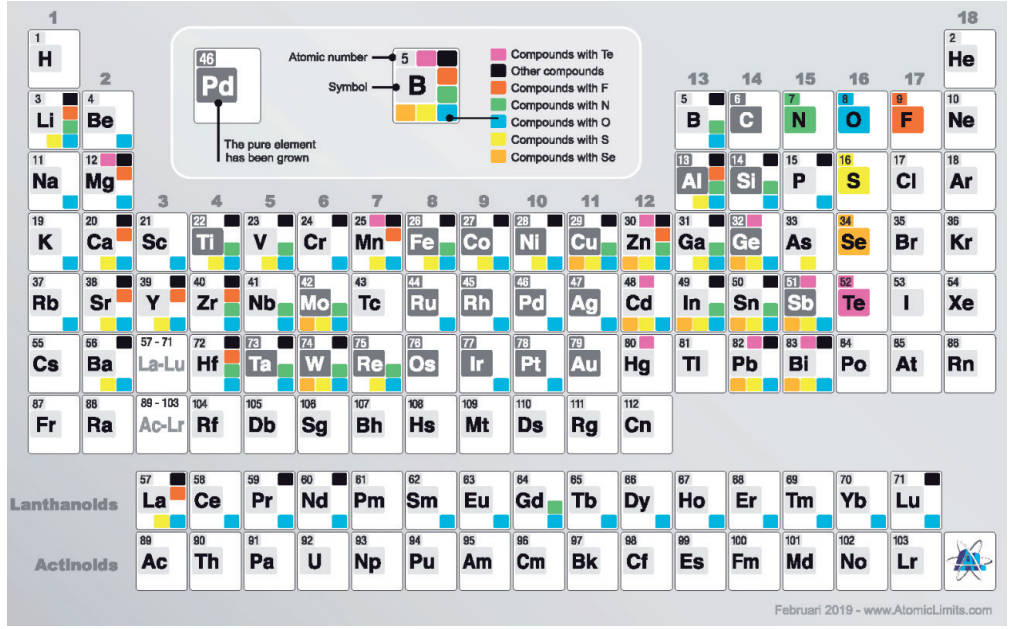
Tasarım ve Yazılım
Uygulaması



ALD

İnce Film Biriktirme / Thin Film Coating
Yöntemlerinden biridir ve Atomik
Seviyede Kalınlık Kontrolü sağlayarak
son derece ince, homojen ve pürüzsüz
filmler oluşturur

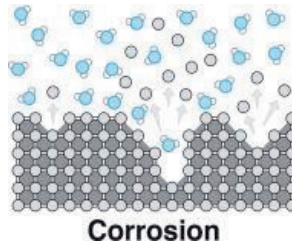
ALD ile Kaplanabilen Malzemeler



- ALD dışbükey ve içbükey mercekler veya küre mercekler gibi optik bileşenlerin kaplanması için kullanılabilir.

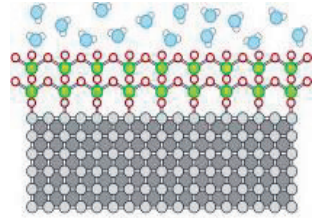


- Yansıma önleyici kaplamaların ve bant geçiren filtrelerin ALD Uygulamaları mevcuttur.
- Biyomedikal Sektörde TiO_2 ALD Kaplamalarının endüstriyel uygulamaları başarıyla kullanılmaktadır.

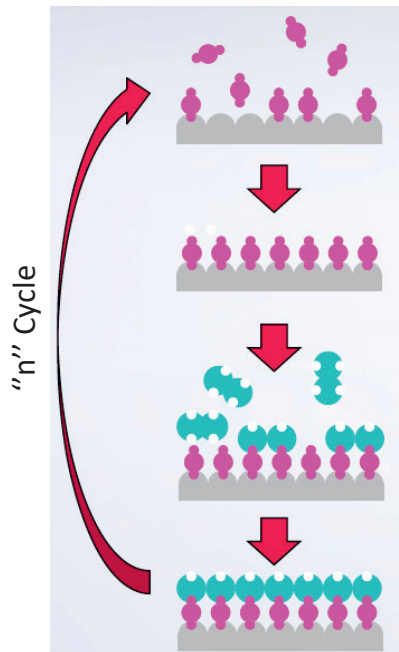


Corrosion

- Al_2O_3 , TiO_2 , ve $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ katmanlarının farklı yüzeylere korozyon önleme amacıyla uygulanması başarılı sonuçlar vermektedir.



Protection



AB bileşiği oluştururken substrat yüzeyi
1. prekürsöre tabi tutularak yüzeyde
A katmanı oluşturulmaya başlanır.

A elementi yüzeye tek tabaka olarak
kaplandıktan sonra sistem
temizlenerek ikinci prekürsöre
hazırlanır.

AB bileşiğinin B elementini kaplamak
üzere 2. prekürsör substrat yüzeyine
ulaştırılır.

Son yüzeyde B tek katmanı tamamlanınca
AB katmanı da tamamlanır.

Atomic Layer Deposition Reactor for Your Research and Business



LABVIEW SOFTWARE
Fast and Traceable software
for researchers

NSTECH TF-150X ALD Specifications

Substrate Load Area Diameter	150mm
Dimensions (w x d x h)	1400 x 1245 x 600
Operational Modes	Manual ALD SVM DopedALD
Power	3 Phase 380V AC 3000W (excluding pump)
Control	Labview Software Beckhoff Industrial PC-PLC + Laptop
Real Time Data Saving	Save Data Per 20ms to xlsx "Pressure, Temp, MassFlowRate"
Max Heating Capacity	3 Different Areas Reactor - 350 C° , Gas Line - 200 C° , Precursor Cylinder - 150 C°
Temperature Measurement Accuracy	24-Bit Resolution 0.001 C° Measurement Accuracy
Vacuum Pump	KJLC-RV212SSH PUMP, ROTARY VANE, 10.8 M3/HR, (7.6CFM), 230V, 50/60HZ, 1PH, MAINS
Precursor Delivery System, Ports	4 Line Lines can be heated up to 200 °C
Precursor Delivery System, ALD Valves	4 ALD Valves Industry standard high speed ALD valves with 15 msec response time
Carrier / Venting Gas	N2 - 0.5 SLPM Air

PRICE ADVANTAGE
Thanks to domestic production
we offer technology at an affordable price



**SERVICE AND CUSTOMIZABLE
PRODUCT OPPORTUNITY FOR
YOU**
With the advantage of being manufactured
in Turkey, service support will be provided
for researchers and user-specific
developments will be possible

TF-150X ALD Reaktörü

- 150mm çap ve 300mm derinliğe sahip kaplama alanı ile daha büyük malzemeler için de araştırmalar gerçekleştirebilmek amacı ile tasarlanmıştır.
- Belirtilen hacimdeki malzemelerin tüm yüzeylerinde ALD kaplama gerçekleştirilmesini sağlar.
- Sistemde gerçekleştirilen tüm kaplama süreçleri gerçek zamanlı olarak izlenir ve kayıt edilir.
- 4 farklı bölgeden ayrı ayrı PWM sıcaklık kontrolü gerçekleştirilebilir.
- 1 Torr'un altında basınç değerleri ile kaplama gerçekleştirmeye uygundur.
- Hassas sıcaklık kontrolü ile atomik katman biriktirme için hedeflenen kaplama büyüme oranlarına çıkma konusunda istikrar sağlar.
- Esnek tasarımı ile talepler doğrultusunda revize edilebilir.



Atomic Layer Deposition Reactor for Your Research and Business



LABVIEW SOFTWARE
Fast and Traceable software
for researchers

NSTECH RA200 ALD Specifications

Substrate Size	200mm
Dimensions (w x d x h)	605 x 590 x 920
Operational Modes	Manual ALD SVM DopedALD
Power	220V AC 2000W (excluding pump)
Control	Labview Software Beckhoff Industrial PC-PLC + Laptop
Real Time Data Saving	Save Data Per 20ms to xlsx "Pressure, Temp, MassFlowRate"
Max Heating Capacity	3 Different Areas Reactor - 350 C° , Gas Line - 200 C° , Precursor Cylinder - 150 C°
Temperature Measurement Accuracy	24-Bit Resolution 0.001 C° Measurement Accuracy KJLC-RV212SSH
Vacuum Pump	PUMP, ROTARY VANE, 10.8 M3/HR, (7.6CFM), 230V, 50/60HZ, 1PH, MAINS
Precursor Delivery System, Ports	4 Line Lines can be heated up to 200 °C 4 ALD Valves
Precursor Delivery System, ALD Valves	Industry standard high speed ALD valves with 15 msec response time
Carrier / Venting Gas	N2 - 0,5 SLPM Air

PRICE ADVANTAGE
Thanks to domestic production we
offer technology at an affordable price



**SERVICE AND CUSTOMIZABLE
PRODUCT OPPORTUNITY FOR
YOU**

With the advantage of being manufactured
in Turkey, service support will be provided
for researchers and user-specific
developments will be possible

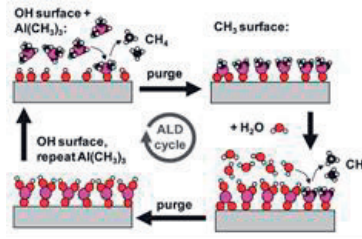
RA-200 ALD Reaktörü

- Başta wafer alttaşlar olmak üzere, 200mm çapa sahip ve 2mm derinliğe sahip alttaşların kullanılacağı malzeme araştırmalarında kullanılmak için tasarlanmıştır.
- Düşük alan ihtiyacı olan sistem ile düşük kaplama alanı kullanması daha az prekürsör gaz ve taşıyıcı gaz kullanması ile maliyet düşürücü etki gösterir.
- Sistemde gerçekleştirilen tüm kaplama süreçleri gerçek zamanlı olarak izlenir ve kayıt edilir.
- 4 farklı bölgeden ayrı ayrı PWM sıcaklık kontrolü gerçekleştirilebilir.
- 1 Torr'un altında basınç değerleri ile kaplama gerçekleştirmeye uygundur.
- Hassas sıcaklık kontrolü ile atomik katman biriktirme için hedeflenen kaplama büyüme oranlarına çıkma konusunda istikrar sağlar.
- Esnek tasarımı ile talepler doğrultusunda revize edilebilir.



ALD Metal Oksit Kaplama Örnek Parametreleri

Malzeme	Al ₂ O ₃	ZnO	TiO ₂	Sizin İhtiyacınız
Kaplama Türü	ALD	ALD	ALD	ALD, SVM, Doped
Reaktör Sıcaklığı	150 °C	150 °C	150 °C	0-300 °C
Gaz Hattı Sıcaklığı	75 °C	75 °C	75 °C	0-200 °C
Prekürsor Isıtması	-	-	-	0-150 °C
Prekürsor A	TMA	DEZ	TiCl ₄	A
Gönderim Süresi (s)	0,075	0,05	0,150	0,010 - 1
Prekürsor B	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	B
Gönderim Süresi (s)	0,075	0,050	0,075	0,010 - 1
Purge Süresi (s)	30	30	45	Purge Süresi
Inert Flow (SCCM)	180	180	180	0-100
Å / döngü	1,1	1,6	0,5	x Å



ALD

Teknolojisiyle
Endüstride Yüksek
Hassasiyetli Kaplama
Reaktörü

İşinize Özel

Esnek Tasarım ve Yazılım

Çözümleri

SUNUYORUZ

ALD

Atomic Layer Deposition

Yöntemi ile Üstün Yetenekli
Kaplama

Esnek Tasarım ve Yazılım
Çözümleri
SUNUYORUZ



ALD

Teknolojisiyle
Biyomedikal
Cihazlarda
Biyouyumlu Kaplama
Reaktörü

ALD Teknolojisi

İnce Film Biriktirme / Thin Film Coating Teknolojisi



Biyomedikal MEMS



Biyosensörle



Kardiyovasküler



İmplantlar



Nöroprotez

İşinize Özel

Esnek Tasarım ve Yazılım

Çözümleri

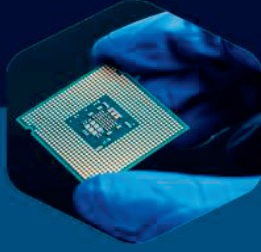
SUNUYORUZ



ALD

Teknolojisiyle
Optik Lenslere Yönelik
KAPLAMA Reaktörü

ALD Teknolojisi



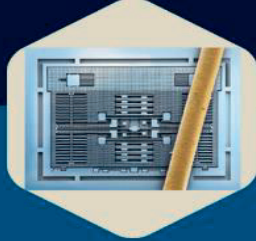
Semiconductor



Optical Materials



Materials Science



MEMS



Medical

**İşinize Özel
Esnek Tasarım ve Yazılım
Çözümlerini**

İnce Film Biriktirme
Thin Film Coating

**Teknolojisi ile birlikte
sunuyoruz**

NS-TECH®
Teknoloji Uygulamaları San.ve Tic.Ltd.Şti

ALD Atomic Layer Deposition

Yöntemi ile Üstün Yetenekli Kaplama Teknolojisi



ALD (Atomic Layer Deposition) teknolojisi;

Optik sistemlerde merceklerin performansını artırmak için mükemmel bir seçenektir. Özellikle uzay, havacılık, savunma ve radar uygulamalarında kullanılacak kaplamalar için aşağıdaki elementler ve yöntemler önerilmektedir.

Uygulama Alanları ve Fırsatlar

Malzeme	Al_2O_3	ZnO	TiO_2
Prekürsör A	TMA	DEZ	$TiCl_4$
Prekürsör B	H_2O	H_2O	H_2O

1. Hedeflenen Özellikler ve Uygulama Alanları

Uygulama: Uzay, havacılık ve savunma sanayii — yüksek radyasyon, sıcaklık ve aşındırıcı ortamlara dayanıklı, optik özellikleri optimize edilmiş mercek kaplamaları.

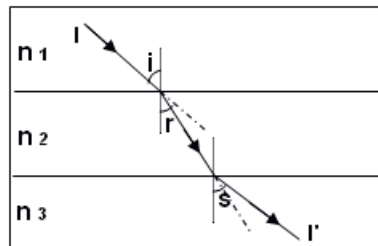
Hedef Özellikler:

- Düşük yansıma (anti-reflektif)
- Radyasyona karşı direnç
- Korozyon ve aşınma dayanımı
- Optik geçirgenlik kontrolü (IR, VIS, UV)
- Isı dayanımı (350°C'ye kadar)
- Plazmasız ya da düşük sıcaklıklı plazmalı uygulama

2. Kullanılabilecek Elementler ve Bileşikler

Optik Performans için

- Al_2O_3 (Alüminyum Oksit): Geniş spektrumda şeffaflık, kimyasal ve mekanik dayanım.
- TiO_2 (Titanyum Oksit): Yüksek kırılma indisi, UV koruma, anti-reflektif ve fotokatalitik etkili.
- ZnO (Çinko Oksit): Geniş spektrumlu şeffaflık, UV koruma, düşük elektriksel iletkenlik, fotokatalitik özellik. Çinko oksit, özellikle optik kaplamalarda anti-reflektif özellikler ve UV filtresi olarak kullanılır.
- HfO_2 (Hafniyum Oksit): Radyasyona karşı dayanıklı, yüksek dielektrik, IR için uygun, yüksek kırılma indisi, lazer direnci
- ZrO_2 (Zirkonyum Oksit): Aşınma dayanımı yüksek, optik şeffaflıkta başarılı.
- SiO_2 (Silisyum Oksit): Düşük kırılma indisi, anti-reflektif çok katmanlı tasarım için kullanılır, AR kaplamalarda TiO_2 ile çok katmanlı yapılarda kullanılır.
- Ta_2O_5 (Tantal Pentoksit): Geniş spektral geçirgenlik, düşük absorpsiyon.



Radyasyon ve Aşınma Direnci için

- Ta_2O_5 (Tantalum Oksit): Radyasyon direnci yüksek, yüksek kırılma indisi.
- Nb_2O_5 (Niyobyum Oksit): IR-optik uygulamalar için yüksek geçirgenlik.
- La_2O_3 (Lantanum Oksit): Yüksek optik şeffaflık, düşük absorpsiyon.

Radyasyon ve Yüksek Sıcaklık Direnci

- Y_2O_3 (İtiryum Oksit): Radyasyona dayanıklı.
- ZrO_2 (Zirkonyum Dioksit): Termal bariyer, yüksek sertlik.
- Dy_2O_3 (Disprozyum Oksit): Nötron absorpsiyonu (nükleer uygulamalar)

Radar Sönümleme ve Düşük Yansıma Özelliği (Stealth Kaplamalar)

- Si_3N_4 (Silisyum Nitrür): Dielektrik özellikler, radar dalgalarını absorbe eder.
- ZnS (Çinko Sülfür): IR ve radar uyumlu kaplamalar.
- CNT (Karbon Nanotüp) Katkılı Kaplamalar: EM dalga absorpsiyonu (plazma gerektirebilir)

Radar Dalga Sönümleme (EMI/RF absorpsiyonu)

- ZnO : İletkenliği modifiye edilebilir, düşük sıcaklıkta uygulanabilir.
- ITO (Indium Tin Oxide): Yarı iletken, IR geçirgen, plazmalı ALD ile uygundur.
- VO_2 (Vanadyum Oksit): Termokromik özellik, radar yansıma azaltıcı.

Korozyon ve Aşınma Direnci

- Al_2O_3 (Alümina): Sert, korozyon dirençli.
- DLC (Diamond-Like Carbon): Plazma-assisted ALD gerektirir (mevcut değilse alternatifler kullanılmalı)

Atomic Layer Deposition (ALD) teknolojisi, geniş kaplama yelpazesi ve çok çeşitli elementlerin kullanım imkanı ile **Optik Performans, Radyasyon ve Aşınma Direnci, Yüksek Sıcaklık Direnci, Radar Sönümleme ve Düşük Yansıma Özelliği, Radar Dalga Sönümleme, Korozyon ve Aşınma Direnci** gibi birçok farklı uygulama için mükemmel çözümler sunar. Farklı elementlerin ve bileşiklerin esnek kombinasyonları ile ALD, sektörel ihtiyaçlara özel, üstün performans ve dayanıklılık sağlayan kaplama çözümleri sunar

3. Öncü Gazlar ve ALD Süreç Parametreleri

Malzeme	Metal Prekürsörü	Oksijen Kaynağı	Temp.	Not
Al ₂ O ₃	TMA (Trimethylaluminum)	H ₂ O / O ₃	150–300°C	Plazmasız uygundur
TiO ₂	TiCl ₄ / TDMAT	H ₂ O / O ₃	100–250°C	Düşük sıcaklıkta TDMAT tercih edilir
HfO ₂	TDMAH / HfCl ₄	H ₂ O / O ₃	150–300°C	Kimyasal kararlılığı yüksek
ZrO ₂	TEMAZ / ZrCl ₄	H ₂ O	150–250°C	Zor aşınan kaplama
SiO ₂	Tris(tert-butoxy)silan	H ₂ O	200–300°C	Düşük kırılma indisi sağlar
Ta ₂ O ₅	PDMATa	H ₂ O / O ₃	200–300°C	Plazmasızda sınırlı reaktivite
ZnO	DEZn (Diethylzinc)	H ₂ O / O ₃	100–200°C	RF/IR absorpsiyona uygun

Not: Plazmalı sistem entegre edildiğinde O₂ plasma, N₂ plasma ya da NH₃ plasma ile düşük sıcaklıkta daha kaliteli filmler elde edilebilir.

4. Cycle Tasarımı ve Temizleme Adımları

Tipik ALD Cycle

1. Prekürsör (0.025–0.5 sn)
2. Purge (N₂ veya Ar, 5–30 sn)
3. Oksijen kaynağı (H₂O, O₃)
4. Purge (5–30 sn)

Cycle Notları

- Her işlem sonrası N₂ veya Ar purge şarttır.
- Aynı purge gazı tekrar kullanılabilir, ancak “cross-contamination” olmaması için purge süresi yeterli tutulmalı.
- Özellikle Cl içeren prekürsörler (örneğin TiCl₄) kullanılıyorsa, yüzeyde tuz kalıntıları olmaması için daha uzun purge gerekir.
- Su buharı yerine ozon kullanıldığında daha yoğun ve düzgün filmler elde edilir (özellikle metal oksitlerde).

5. Yüzey Temizliği ve Ön Hazırlık

Kaplama Öncesi Temizlik:

- Ultrasonik banyo (önce aseton + izopropil alkol)
- Deiyonize su ile durulama
- Kurutma: Azot akışı altında
- Gerekirse, UV-O₃ temizliği (organik kontaminasyonu azaltmak için)

6. Uyumlu Mercek Malzemeleri

Mercek Malzemesi	Önerilen ALD Kaplamalar	Önemli Notlar
Cam (BK7, Borosilikat)	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ , HfO ₂ , SiO ₂	Çok katmanlı kaplamalarda termal genleşme uyumu önemli.
Kuvars (Silika, SiO ₂)	SiO ₂ , ZrO ₂ , Al ₂ O ₃	Yüksek sıcaklık proseslerine dayanıklı, düşük absorpsiyon.
Polimer (PMMA, PC)	Al ₂ O ₃ (düşük sıcaklık), ZnO	Proses sıcaklığı ≤150°C olmalı; mekanik esneklik korunmalı.
Yüksek İndeksli Cam	TiO ₂ /SiO ₂ çok katmanlı kombinasyonlar	Faz geçişlerini önlemek için kontrollü kristalizasyon gereklidir.
Germanyum (Ge)	Al ₂ O ₃ , ZnO, SiO ₂ , HfO ₂ ve Y ₂ O ₃	Kızılötesi (IR) şeffaflığı için kalınlık optimizasyonu şart.
ZnSe	Al ₂ O ₃ , HfO ₂	IR uygulamalarında soğurma kaybını minimize etmek için ince filmler tercih edilir.
Safir (Al ₂ O ₃)	Y ₂ O ₃ , HfO ₂	Epitaksiyel büyüme riski nedeniyle amorf faz tercih edilir.
Zerodur	TiO ₂ /SiO ₂ çok katmanlı AR kaplamalar	Düşük stresli kaplama gerektirir (termal olarak eşleşmeli).

7. Çok Katmanlı ALD Yapılar (Anti-reflektif / Dayanıklı Katmanlar)

Örnek Tasarım:

- [1. kat] SiO₂ (düşük indeks)
- [2. kat] TiO₂ veya HfO₂ (yüksek indeks)
- [3. kat] Al₂O₃ (koruma ve dengeleyici katman)

Bu katmanlar 10–50 nm arası kalınlıklarda optimize edilebilir. Böylece optik geçirgenlik artırılırken yansıma minimize edilir.

8. Plazmasız ve Plazmalı Yöntemler

Plazmasız Avantajları:

- Düşük sıcaklıkla çalışabilir
- Karmaşık geometrilere uygun

Plazmalı ALD (PEALD) Avantajları:

- Daha yoğun ve kusursuz film
- Düşük sıcaklıkta daha yüksek reaktivite
- Metal nitrür/karbür gibi kaplamalar mümkün (örneğin: TiN, AlN)

Plazma entegre edildiğinde gaz olarak:

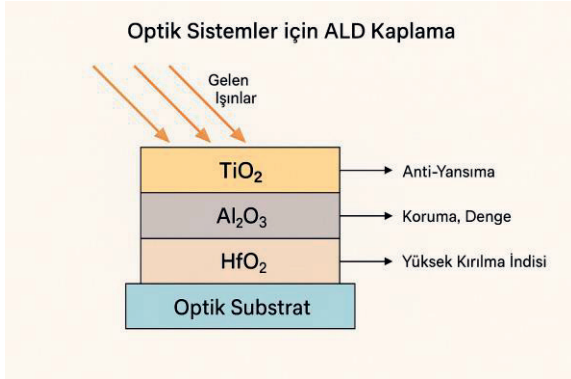
- O₂ plazma: Metal oksitler için
- NH₃ plazma: Nitrürler için
- N₂ plazma: Yumuşak geçişli yüzey modifikasyonu

Sonuç ve Stratejik Öneriler

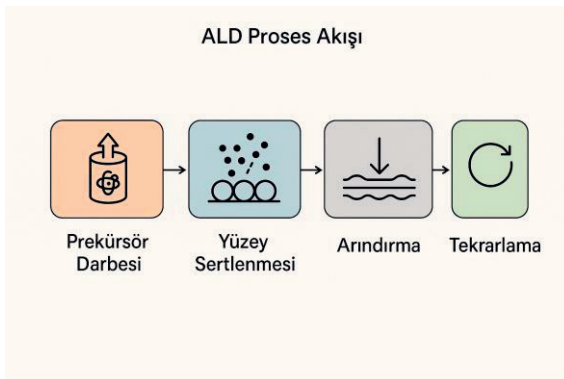
1. İlk aşamada Al₂O₃, ZnO ve TiO₂ ile başlayarak optik geçirgenlik ve dayanım testleri yapılabilir.
2. Gelişmiş performans için Al₂O₃, ZnO ve TiO₂ kullanılarak katmanlı kaplamalar değerlendirilebilir.
3. Radyasyon ve aşınmaya karşı Hafniyum ve Zirkonyum oksitler test edilmelidir.
4. Radar/IR soğurumu gerekiyorsa ZnO, ITO, VO₂ sistemleri değerlendirilmeli.
5. Plazma entegre edildiğinde ITO ve nitrür kaplamalar devreye alınabilir.

Hazırlanacaklar

1. Optik sistemlere özel ALD kaplama yapı şeması
 - o Al_2O_3 , TiO_2 , HfO_2 katmanlarını içeren çok katmanlı sistem çizimi
 - o Katman kalınlıkları, kırılma indisleri ve işlevleri
2. ALD prosesi adımları diyagramı
 - o Prekürsör – purge – oksidant – purge döngüsü
 - o Plazmalı ve plazmasız karşılaştırması
3. Farklı mercek materyalleri için uygun ALD kaplama tablosu (genişletilmiş)
 - o IR, VIS, UV aralıklarında geçirgenlik uyumu
4. Uygulanabilirliği test edilebilecek 2–3 adet ALD tarif (reçete) örneği
 - o Örn: 300 cycle Al_2O_3 + 100 cycle TiO_2 – 45 nm hedef kalınlık
 - o Gerekli gazlar, sıcaklıklar, purge süreleri
5. Yüzey hazırlık ve temizlik sürecine ait teknik doküman özeti
6. Kplama Şeması



7. Proses Şeması



ALD Kaplamalar için Mercek Materyali Uyumluluk Tablosu

Mercek Malzemesi	Spektrum Aralığı	Uygun ALD Kaplama Malzemeleri	Fonksiyonel Özellikler
BK7 (borosilikat cam)	VIS, NIR	Al_2O_3 , TiO_2 , HfO_2	Yansıma azaltma, korozyon direnci, sertlik
Zerodur	VIS, UV	Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2	Termal genleşme kontrolü, optik geçirgenlik, yüzey dengeleme
Sapphire (Al_2O_3)	VIS, NIR, IR	HfO_2 , Ta_2O_5 , AlN	Termal dayanım, radyasyon direnci, mekanik aşınma önleme
Fused Silica	DUV – NIR	Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2	Düşük absorpsiyon, anti-reflektif, nem direnci
CaF_2	DUV – IR	Al_2O_3 , MgF_2 (F precursors ile)	UV geçirgenlik, nem hassasiyeti azaltma
Ge (germanium)	MWIR – LWIR	Al_2O_3 , ZnO , TiO_2 , ZnS , ZnSe (yüksek kırılmalı)	IR geçirgenlik, termal stabilite
ZnSe	MWIR – FIR	Al_2O_3 , Y_2O_3 , MgO	IR yansıma düşürme, çizilme direnci
Plastik (PMMA, PC)	VIS	Al_2O_3 (düşük sıcaklıkta, $<100^\circ\text{C}$)	Antistatik, çizilme önleyici, UV bariyer

- Plazmasız sistemlerde Al_2O_3 ve TiO_2 gibi oksitler TMA/ H_2O , TiCl_4 / H_2O gibi klasik çiftler ile rahatlıkla uygulanabilir.
- Yüksek kırılma indisli gereksinimler için: HfO_2 , Ta_2O_5 gibi malzemeler tercih edilmeli.
- IR uygulamalarında: ZnSe , ZnS gibi malzemeler ve bunlara uyumlu ALD tarifleri için özel prekürsörler gerekir.
- Yüzey temizliği sonrası kuruluk çok önemlidir, ALD'den önce yüzeyin tamamen kuru ve aktif olması gerekir.

Listelenen ince film biriktirme önerileri ve özellikleri sadece örnek niteliğindedir. En uygun sonuçları elde etmek için süreçler, malzeme araştırmalarıyla ihtiyaçlara ve koşullara göre optimize edilmelidir.

Referans Malzeme Kombinasyonları

Uygulama	Malzeme	Öncüler	Cycle Sayısı	Kalınlık (nm)
AR Kaplama	TiO ₂ /SiO ₂	TTIP + H ₂ O / SiCl ₄ +O ₃	500-1000	50-100
Radar Sönümleme	Si ₃ N ₄	SiH ₄ + NH ₃	1000	100
Radyasyon Korum	Y ₂ O ₃	Y(EtCp) ₃ + O ₃	300	30

Bu yaklaşımla, mevcut ALD sistemimizle yüksek performanslı optik kaplamalar üretmek mümkündür. Plazma entegrasyonu ile kapasite genişletilebilir.

Öncü Gaz Seçimi ve Reaksiyon Kimyası

Her ALD kaplama malzemesi için önerilen öncüler ve proses parametreleri aşağıdaki tabloda listelenmiştir,

Kaplama Malzemesi	Öncü Gaz 1 (Metal)	Öncü Gaz 2 (Reaktif)	Optimal Sıcaklık	Notlar
Al ₂ O ₃	TMA (Trimethylaluminum)	H ₂ O veya O ₃	100-350°C	Yüksek kimyasal stabilite
TiO ₂	TTIP (Titanium isopropoxide) veya TiCl ₄	H ₂ O/O ₃	200-350°C	TTIP organik kalıntı bırakabilir
SiO ₂	SiCl ₄ veya TEOS (Tetraethylorthosilicate)	H ₂ O/O ₃	250-350°C	TEOS düşük sıcaklıkta verimsiz
Si ₃ N ₄	SiH ₄ veya SiCl ₄	NH ₃ veya N ₂ /H ₂ plazma	300-500°C	Plazmasız NH ₃ verimi düşük
HfO ₂	TDMAHf (Tetrakis(dimethylamido)hafnium)	H ₂ O/O ₃	200-350°C	Yüksek dielektrik katsayı
ZnS	DEZ (Diethylzinc)	H ₂ S	150-300°C	Kızılötesi uygulamalar
Y ₂ O ₃	Y(EtCp) ₃ (Tris(ethylcyclopentadienyl)yttrium)	O ₃	250-400°C	Radyasyon koruması

Listelenen ince film biriktirme önerileri ve özellikleri sadece örnek niteliğindedir. En uygun sonuçları elde etmek için süreçler, malzeme araştırmalarıyla ihtiyaçlara ve koşullara göre optimize edilmelidir.

ALD Reçete Örneği

350 °C, -1 bar, Plazmasız ALD kaplamasına uygun, farklı mercek türleri ve uygulama hedeflerine göre hazırlanmış ALD reçete tarifleri

Anti-reflektif Kaplama (BK7 veya Fused Silica için)

Çok katmanlı Al₂O₃ / TiO₂ sistemi

Katman	Prekürsör	Oksidant	Temp.	Cycle Sayısı	Kalınlık (yaklaşık)
Al ₂ O ₃	TMA (Trimethylaluminum)	H ₂ O	200 °C	100	~10 nm
TiO ₂	TiCl ₄	H ₂ O	250 °C	150	~15 nm
Al ₂ O ₃	TMA	H ₂ O	200 °C	100	~10 nm

Purge Süreleri

- Prekürsör sonrası: 5 s (N₂)
- Oksidant sonrası: 5 s (N₂)

Toplam Kalınlık: ~35 nm

Amaç

Yansıma azaltma, yüzey koruma

IR Geçirgen Mercekler için Dayanım Artırıcı Kaplama (ZnSe, Ge)

Kaplama	Prekürsör	Oksidant	Temp.	Cycle	Kalınlık
Al ₂ O ₃	TMA	H ₂ O	200 °C	300	~30 nm

Amaç

- IR şeffaflığını koruyarak çizilmeye, nem ve korozyona karşı koruma
- Al₂O₃ IR'de absorpsiyona neden olmaz

Opsiyonel

HfO₂ katmanı (150 cycle) eklenerek radyasyon dayanımı artırılabilir

Polimer Merceklerde UV Koruma ve Çizilme Direnci (PMMA, PC)

Kaplama	Prekürsör	Oksidant	Temp.	Cycle	Kalınlık
Al ₂ O ₃	TMA	H ₂ O	90 °C	200	~20 nm

Not

- Düşük sıcaklık uygulaması (polimer deformasyonuna karşı)
- Mutlaka ön ısıtma yapılmalı, nemli ortamdan kaçınılmalı
- Reaktifleri iyi purge etmek önemli (TMA residuals kalabilir)

Radyasyon Direnci ve Aşınma Koruma (Sapphire, Zerodur)

Kaplama	Prekürsör	Oksidant	Temp.	Cycle	Kalınlık
HfO ₂	TDMAH	H ₂ O / O ₃	300 °C	200	~20 nm
Al ₂ O ₃	TMA	H ₂ O	200 °C	100	~10 nm

Amaç:

- Uzay ve savunma optiklerinde, radyasyon direncini artırmak
- Yüksek sıcaklık toleransı olan merceklerde kullanılabilir

Temizlik ve Hazırlık Tavsiyesi (her reçete için geçerli):

- Ultrasonik temizlik (IPA + asetonsuz solvent)
- Deiyonize su ile durulama
- Azot ile kurutma (tamamen kuru olmalı)
- Ozonla (veya plazma ile) son aktivasyon yapılabiliyorsa verim artar

Ge (germanium) Cam veya Optikler Üzerine Kaplama Araştırması

Anti-reflektif (AR) kaplamalar, Atomic Layer Deposition (ALD) yöntemi ile **germanyum (Ge)** cam veya optikler üzerine uygulanabilir. ALD, ince filmlerin atomik seviyede kontrol edilerek biriktirilmesini sağlayan bir teknik olduğu için, özellikle optik kaplamalarda yüksek homojenlik, mükemmel kaplama kapsamı ve kalınlık kontrolü sunar.

Al_2O_3 , ZnO, TiO_2 , SiO_2 , HfO_2 , Y_2O_3 , ZnS ve Si_3N_4 ile kaplama yapmaya dair araştırma sonuçları, her bir malzeme için **0,05 μm (50 nm)** kalınlıkta kaplama için **cycle sayıları**, **öncül gazlar**, **sıcaklık**, **basınç** ve **cycle adımları** detayları aşağıda açıklanmıştır.

1. Al_2O_3 (Alümina) Kaplaması

- **Öncül Gazlar:**
 - Al kaynağı: TMA (Trimethylaluminum, $Al(CH_3)_3$) ya da
 - Oksijen kaynağı: H_2O veya O_3
- **Proses Sıcaklığı:** 100–300°C (Optimal: 200°C)
- **Basınç:** 1–2 Torr
- **Büyüme Hızı:** $\sim 0.1 \text{ Å/cycle}$
- **50 nm için Cycle Sayısı:** $\sim 500 \text{ cycle}$
- **Cycle Sıralaması:**
 1. TMA pulse (0.1 s) $\rightarrow$ Ar/ N_2 purge (5–10 s)
 2. H_2O/O_3 pulse (0.1 s) $\rightarrow$ Ar/ N_2 purge (5–10 s)

2. ZnO (Çinko Oksit) Kaplaması

- **Öncül Gazlar:**
 - Zn kaynağı: DEZ (Diethylzinc, $Zn(C_2H_5)_2$)
 - Oksijen kaynağı: H_2O veya O_3
- **Proses Sıcaklığı:** 100–250°C (Optimal: 200°C)
- **Basınç:** 1–10 Torr
- **Büyüme Hızı:** $\sim 0.2 \text{ Å/cycle}$
- **50 nm için Cycle Sayısı:** $\sim 250 \text{ cycle}$
- **Cycle Sıralaması:**
 1. DEZ pulse (0.1 s) $\rightarrow$ Ar/ N_2 purge (5–10 s)
 2. H_2O/O_3 pulse (0.1 s) $\rightarrow$ Ar/ N_2 purge (5–10 s)

3. TiO_2 (Titanyum Dioksit) Kaplaması

- **Öncül Gazlar:**
 - Ti kaynağı: TTIP (Titanium tetraisopropoxide, $Ti[OCH(CH_3)_2]_4$) veya TDMAT (Tetrakis(dimethylamido)titanium)
 - Oksijen kaynağı: H_2O , O_3 veya H_2O_2 (tercih edilen: H_2O_2 ya da O_3)
- **Proses Sıcaklığı:** 150–200°C (Optimal: 150°C)
- **Basınç:** 1–5 Torr
- **Büyüme Hızı:** H_2O ile $\sim 0.4 \text{ Å/Cycle}$, H_2O_2 veya O_3 ile $\sim 0.6 \text{ Å/Cycle}$
- **50 nm için Cycle Sayısı:** $\sim 100-170 \text{ cycle}$
- **Cycle Sıralaması:**
 3. TTIP pulse (0.3 s) $\rightarrow$ Ar/ N_2 purge (10 s)
 4. H_2O/H_2O_2 pulse (0.1-0.2 s) $\rightarrow$ Ar/ N_2 purge (10 s)

4. SiO₂ (Silisyum Dioksit) Kaplaması

- Öncül Gazlar:
 - Si kaynağı: BTBAS (Bis(tert-butylamino)silane) veya TDMAS
 - Oksijen kaynağı: O₃ veya O₂ plazma
- Proses Sıcaklığı: 150–400°C (BTBAS için 300°C)
- Basınç: 0.1–5 Torr
- Büyüme Hızı: ~0.1–0.2 Å/cycle
- 50 nm için Cycle Sayısı: ~250–500 cycle
- Cycle Sıralaması:
 1. BTBAS/TDMAS pulse (0.5 s) → Ar/N₂ purge (10 s)
 2. O₃/O₂ pulse (1 s) → Ar/N₂ purge (10 s)

5. HfO₂ (Hafniyum Oksit) Kaplaması

- Öncül Gazlar:
 - Hf kaynağı: TDMAH (Tetrakis(dimethylamido)hafnium)
 - Oksijen kaynağı: H₂O veya O₃
- Proses Sıcaklığı: 150–300°C (Optimal: 250°C)
- Basınç: 1–10 Torr
- Büyüme Hızı: ~0.1 Å/cycle
- 50 nm için Cycle Sayısı: ~500 cycle
- Cycle Sıralaması:
 1. TDMAH pulse (0.5 s) → Ar/N₂ purge (10 s)
 2. H₂O/O₃ pulse (0.5 s) → Ar/N₂ purge (10 s)

6. Y₂O₃ (İttriyum Oksit) Kaplaması

- Öncül Gazlar:
 - Y kaynağı: Y(EtCp)₃ (Tris(ethylcyclopentadienyl)yttrium)
 - Oksijen kaynağı: H₂O veya O₃
- Proses Sıcaklığı: 200–350°C (Optimal: 300°C)
- Basınç: 1–10 Torr
- Büyüme Hızı: ~0.05–0.1 Å/cycle
- 50 nm için Cycle Sayısı: ~500–1000 cycle
- Cycle Sıralaması:
 1. Y(EtCp)₃ pulse (1 s) → Ar/N₂ purge (15 s)
 2. H₂O/O₃ pulse (1 s) → Ar/N₂ purge (15 s)

7. ZnS (Çinko Sülfür) Kaplaması

- Öncül Gazlar:
 - Zn kaynağı: DEZ (Diethylzinc)
 - Sülfür kaynağı: H₂S (Hidrojen Sülfür)
- Proses Sıcaklığı: 100–300°C (Optimal: 200°C)
- Basınç: 1–10 Torr
- Büyüme Hızı: ~0.15–0.2 Å/cycle
- 50 nm için Cycle Sayısı: ~250–350 cycle
- Cycle Sıralaması:
 1. DEZ pulse (0.1 s) → Ar/N₂ purge (5–10 s)
 2. H₂S pulse (0.1 s) → Ar/N₂ purge (5–10 s)

Multi-Layer Kaplama Önerisi (Al_2O_3 / ZnO / SiO_2 / HfO_2 / Y_2O_3 / ZnS / Si_3N_4)

Germanyum optikler için **geniş spektrumlu AR kaplama** için şu sıralama önerilir:

- | | |
|---|--|
| 1. Al_2O_3 (50 nm, 500 cycle) | → Yüzey pasivasyonu ve adhezyon artırma. |
| 2. ZnO (50 nm, 250 cycle) | → Orta kırılma indisi katmanı. |
| 3. SiO_2 (50 nm, 400 cycle) | → Düşük kırılma indisi ile yansıma azaltma. |
| 4. HfO_2 (50 nm, 500 cycle) | → Yüksek kırılma indisi ile IR performansı. |
| 5. Y_2O_3 (50 nm, 800 cycle) | → Kızılötesi uyumluluk. |
| 6. ZnS (50 nm, 300 cycle) | → Geçirgenlik artırma (8–12 μm IR bölgesi). |
| 7. Si_3N_4 (50 nm, 400 cycle) | → Sertlik ve aşınma direnci. |

Ek Tavsiyeler:

- **Öncül Seçimi**
 - DEZ ve TMA yüksek reaktiviteye sahiptir, kısa pulse süreleri yeterlidir.
 - $\text{Y}(\text{EtCp})_3$ ve TDMAH gibi kompleks öncüller için daha uzun pulse ve purge gerekir.
- **Plazma Destekli ALD**
 - O_2 veya N_2/H_2 plazma kullanılırsa, daha düşük sıcaklıkta yüksek kaliteli filmler elde edilebilir.
- **Germanyum Yüzey Hazırlığı**
 - HF ile temizleme + O_2 plazma aktivasyonu yapılmalıdır.

Bu kombinasyon, **görünürden kızılötesine geniş bir spektrumda yansıma kaybını minimize eder** ve mekanik dayanıklılık sağlar. ZnS ve Si_3N_4 eklenmesi, özellikle uzun dalga boylarında performansı artırır. Denemelerinizde önce tek katman optimizasyonu, ardından çok katman testleri yapmanız önerilir.

Uyumluluk

Germanyum (Ge) optikler üzerine yapmayı planladığınız ZnS , Si_3N_4 , HfO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , ZnO , SiO_2 ve Y_2O_3 kaplamalarının uyumluluğu, literatürdeki çalışmalar ve endüstriyel uygulamalarla desteklenmektedir.

Özellikle **kızılötesi (IR) optiklerde** bu malzemeler yaygın olarak kullanılır.

Aşağıda, her bir kaplamanın **Ge ile uyumu**, **başarı kriterleri** ve **literatür referansları** tablo halinde özetlenmiştir.

Germanyum (Ge) Üzerine Kaplamalar İçin Yüzey Önileme ve Uyumluluk

Germanyum Optikler üzerine ALD kaplama öncesinde yüzey önileme yapılması film kalitesi için önemlidir. ALD uygulama öncesinde Ge optik malzemeler üzerine uygulanması önerilen yüzey önileme prosesleri:

- **Temizlik (Organik Kalıntıların Giderilmesi)**
 - Aseton -> İzopropanol (IPA)
- **Yüzey Oksit Katmanının GeO₂ Giderilmesi**
 - Zayıf asidik çözelti ile kimyasal temizlik. (Örn: %1 HCl veya H₂O₂:HCl karışımı)
- **Plazma Önileme (opsiyonel)**
 - O₂ plazması ile yüzey hidroksilasyonu sağlanabilir. Yüzeyde -OH grupları oluşturularak ALD prekürsörüne bağlanma sağlanır
- **Termal Kurutma**
 - 100–200 °C’de vakum altında kurutma önerilir.

Temizlik süreçleri sonrasında da ilk katmanın yüzeyle güçlü bir bağ kurması film kalitesini etkileyen faktörlerdendir. Al₂O₃, Ge ile yüksek bağ enerjisine sahiptir. **TMA (Al prekürsörü)** Germanyum yüzeyine çok iyi bağlanır. Al₂O₃ ilk katman olarak kaplandığında Germanyum ile yüksek yapışma sağlar, sonra diğer fonksiyonel katmanlar eklenebilir. Tüm süreçlerin oksitlenmeye sebep olmayan şekilde uygun ortam atmosferinde gerçekleştirilmesi için ALD Reaktör ile Glovebox entegrasyonu gerçekleştirilebilir.

Kaplama Malzemesi	Ge ile Uyumluluk	Başarı Oranı (%)	Ana Kullanım Amacı
Al ₂ O ₃	☆☆☆☆☆	~95%	Yüzey pasivasyonu, adhezyon artırma
ZnO	☆☆☆☆	~90%	Orta kırılma indisi, AR kaplama
SiO ₂	☆☆☆☆☆	~98%	Düşük yansıma, geniş spektrum AR
HfO ₂	☆☆☆☆	~92%	Yüksek kırılma indisi (IR uygulamalar)
Y ₂ O ₃	☆☆☆	~85%	Kızılötesi geçirgenlik, termal stabilite
ZnS	☆☆☆☆☆	~95%	8-12 µm IR bölgesinde geçirgenlik

Açıklamalar

1. **Uyumluluk Derecelendirmesi (☆):**
 - ☆☆☆☆☆ : Mükemmel uyum (termal/genleşme katsayısı uyumu, kimyasal stabilite)
 - ☆☆☆☆ : İyi uyum (küçük stres sorunları olabilir)
 - ☆☆☆ : Orta uyum (optimizasyon gerektirir)
2. **Başarı Oranı (%):**
 - >90% : Endüstriyel uygulamalarda yaygın kabul görmüş (örn. Al₂O₃ ve SiO₂)
 - 85-90% : Akademik çalışmalarda başarılı, ancak proses parametreleri kritik (örn. Y₂O₃)



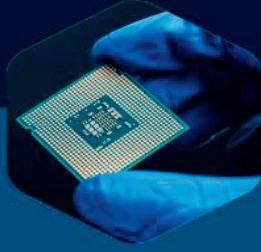
ALD

Teknolojisiyle

Aynalara Yönelik

KAPLAMA Reaktörü

ALD Teknolojisi



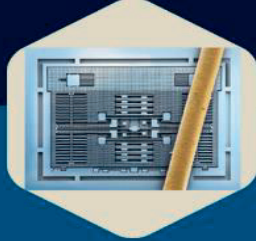
Semiconductor



Optical Materials



Materials Science



MEMS



Medical

**İşinize Özel
Esnek Tasarım ve Yazılım
Çözümlerini**

İnce Film Biriktirme
Thin Film Coating

**Teknolojisi ile birlikte
sunuyoruz**

NS-TECH®
Teknoloji Uygulamaları San.ve Tic.Ltd.Şti

ALD Atomic Layer Deposition

Yöntemi ile Üstün Yetenekli Kaplama Teknolojisi



ALD (Atomic Layer Deposition) teknolojisi;

Uzay ve havacılık sektöründe, uydu sistemlerinde kullanılan aynalar genellikle yüksek **reflektivite**, **düşük emisivite**, **uzay ortamına dayanıklılık** ve **termal stabilite** gerektiren uygulamalar için tasarlanır.

ALD (Atomic Layer Deposition) yöntemi, bu aynalara ince film kaplamalar uygulamak için ideal bir tekniktir çünkü atomik seviyede kontrol, mükemmel kaplama homojenliği ve kompleks geometrileri kaplama yeteneği sunar.

Özellikle uzay, havacılık, savunma ve radar uygulamalarında kullanılacak kaplamalar için aşağıdaki elementler ve yöntemler önerilmektedir.

Uygulama Alanları ve Fırsatlar

1. ALD ile Uygulanan Kaplamalar ve Amaçları

Kaplama Malzemesi	Amaç	Uygulama Örnekleri
Alümina (Al_2O_3)	Yüzey sertleştirme, korozyon direnci	Ayna substrat koruması
Titanyum Dioksit (TiO_2)	Yüksek reflektivite (görünür/UV)	Optik aynalar, lazer sistemleri
Silika (SiO_2)	Anti-refle kaplama, yalıtım	Çok katmanlı kaplamalarda
ZnO (Çinko Oksit)	Şeffaf iletken katman, anti-statik koruma	Çok katmanlı optik yapılar, lazer aynaları.
Hafniyum Oksit (HfO_2)	Yüksek kırılma indisi, lazer direnci	Lazer aynaları, spektroskopi
İndiyum Kalay Oksit (ITO)	İletken şeffaf kaplama	Elektrostatik deşarj koruması

Not: Gümüş ve altın kaplamalar genellikle ALD dışı yöntemlerle (PVD, sputtering) uygulansa da, ALD ile ince koruyucu üst katmanlar (örn. Al_2O_3) eklenebilir.

2. Hangi Kaplamayı Seçmeliyiz?

Hangi kaplamanın kullanılacağı, aynanın çalışma dalga boyu, termal gereksinimleri ve uzay ortamındaki dayanıklılık ihtiyaçlarına bağlıdır

- Görünür/UV Aynaları → TiO_2/SiO_2 çok katmanlı kaplamalar (yüksek reflektivite)
- Kızılötesi (IR) Aynalar → Altın (Au) + ALD ile Al_2O_3 koruma (düşük emisivite)
- Lazer Dirençli Aynalar → HfO_2/SiO_2 çok katmanlar (yüksek hasar eşiği)
- Uzay Korozyon Koruma → Al_2O_3 veya Y_2O_3 ince filmler (atomik bariyer)

3. ALD'nin Avantajları

- Atomik seviyede kontrol → Optik özelliklerin hassas ayarı
- 3D yüzeylere uniform kaplama → Kompleks ayna geometrileri için ideal
- Düşük sıcaklık işlemi → Substrat malzemesine zarar vermez

4. ALD ile yapılacak olan bu kaplamalarda PLAZMA desteğine ihtiyaç var mı?

ALD (Atomic Layer Deposition) proseslerinde plazma desteği, özellikle düşük sıcaklıklarda yüksek kaliteli ince filmler elde etmek, reaksiyon kinetiğini hızlandırmak veya organik öncüllerin (prekürsörlerin) tamamen ayrışmasını sağlamak için kullanılır. Uzay ve havacılıkta kullanılan ayna kaplamalarında plazma destekli ALD (PE-ALD) tercih edilen durumlar şunlardır,

Hangi ALD Kaplamalarında Plazma Desteği Gerekir?

A. Oksit Kaplamalar (Plazma Oksijen veya Ozon Kullanımı)

- TiO_2 , HfO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 gibi metal oksitlerin PE-ALD ile biriktirilmesi:
 - Neden?
 - Organik metal prekürsörlerin (örn. TMA (Alüminyum), TTIP (Titanyum) kalıntılarını (karbon) temizlemek.
 - Daha **düşük sıcaklıkta** (genellikle 100–250 °C) yüksek saflıkta oksit elde etmek (malzemeye bağlı olarak).
 - Uzay ortamında **yüksek lazer direnci** ve **düşük absorpsiyon** için kritik.
 - Plazma Kaynağı: O_2 veya O_3 plazması.

B. Nitrür Kaplamalar (Plazma Azot Kullanımı)

- TiN , AlN , Si_3N_4 gibi nitrürler:
 - Neden?
 - NH_3 gibi prekürsörlerin termal ALD'de yetersiz ayrışması.
 - Uydu aynalarında **iletken tabaka** veya **bariyer katmanı** olarak kullanılabilir.
 - Plazma Kaynağı: N_2 veya NH_3 plazması.

C. Metaller (Özel Durumlar)

- Gümüş (Ag), Altın (Au) gibi metallerin ALD'si:
 - Neden?
 - Organik prekürsörlerin (örn. $Ag(fod)(PEt_3)$) hidrojen plazması ile indirgenmesi gerekir.
 - **Not:** Metal ALD'leri genellikle PVD veya sputtering ile yapılır, ancak PE-ALD ile ultra-ince koruyucu katmanlar mümkün.

5. Hangi Kaplamalarda Plazma Gerekmez?

- Termal ALD ile Yapılanlar:
 - Al_2O_3 (TMA + H_2O) – Yüksek reaktivite nedeniyle plazmasız çalışır.
 - SiO_2 (SiCl_4 + O_3) – Ozon güçlü bir oksidan olduğu için plazma kullanılmadan da yeterli reaktivite sağlanabilir.
 - Polimerik organik kaplamalar (plazma zarar verebilir).

6. Uydu Aynalarında PE-ALD'nin Avantajları

- Düşük Sıcaklık İşlemi : Cam veya polimer substratların termal bozulmasını önler.
- Yüksek Film Kalitesi : Daha az karbon kalıntısı → Uzay radyasyonuna dayanıklılık.
- İnce Bariyer Katmanları : Örneğin, Ag kaplamalı aynalarda Al_2O_3 PE-ALD ile korozyon koruması.

7. Örnek Plazma ALD Uygulamaları

Kaplama	Prekürsör	Plazma Kaynağı	Uydu Aynasındaki Rolü
TiO_2	TTIP	O_2 plazması	UV/görünür bant reflektör
AlN	TMA + NH_3	NH_3 plazması	Termal iletken ara katman
SiO_2	SiH_4 + O_2	O_2 plazması	Anti-refle kaplama

8. Multi-Layer Kaplama İmkanları

ALD yöntemi, farklı kaplama reçetelerinin sistematik olarak programlanabilmesi sayesinde birden fazla ince film katmanının ardışık olarak kaplanmasına imkân tanır. Fonksiyonel ihtiyaçlar doğrultusunda birbiri üzerinde bağ kurabilecek A, B ve C olarak üç farklı katman istenen kalınlıklarda ve istenen sıralamalarda yüzey üzerine kaplanabilir. Bu yönü ile sistem araştırmacılara geniş perspektifte ve farklı alanlarda araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yönelik çalışma konuları sunar.

Al_2O_3 ve TiO_2 çok katmanlı kaplama reçetesi aşağıda verilmiştir.

- Anti-reflektif Kaplama

Çok katmanlı Al_2O_3 / TiO_2 sistemi. Sistem ile istenilen kalınlıklarda Al_2O_3 ve TiO_2 yüzey üzerinde biriktirilebilir.

Katman	Prekürsör	Oksidant	Temp.	Cycle Sayısı	Kalınlık (yaklaşık)
Al_2O_3	TMA (Trimethylaluminum)	H_2O	200 °C	100	~10 nm
TiO_2	TiCl_4	H_2O	250 °C	150	~15 nm
Al_2O_3	TMA	H_2O	200 °C	100	~10 nm

9. Özetle Plazma Ne Zaman Şart?

Uydu optiklerinde kullanılan ayna malzemesi ve maruz kaldığı çevresel koşullar göz önüne alındığında, ALD yöntemiyle elde edilen ince film kaplamalar; yüksek optik performans, termal stabilite ve uzay ortamına karşı dayanıklılık açısından kritik öneme sahiptir.

Termal ALD ile düşük sıcaklıklarda yüksek kalitede kaplanabilen malzemelere örnek olarak Al_2O_3 (alümina), TiO_2 (titanyum dioksit), ZnO (çinko oksit), MgO (magnezyum oksit), SiO_2 (silika, ozonla) ve bazı metal-organik hibrit kaplamalar verilebilir. Bu kaplamalar, **plazma kullanılmadan da yeterli film kalitesi sunabilir** ve cam, polimer gibi **hassas yüzeylerde** avantaj sağlar.

Öte yandan, **düşük reaktiviteye sahip prekürsörlerin kullanıldığı veya yüksek saflık ile düşük absorpsiyonun kritik olduğu** uygulamalarda **Plazma Destekli ALD (PEALD)** tercih edilir. Özellikle HfO_2 (hafniyum oksit), AlN (alüminyum nitrür), Si_3N_4 (silisyum nitrür) gibi malzemelerde plazma desteği, **film yoğunluğunu ve optik dayanıklılığı artırmak** için gereklidir.

Her iki yöntemde de elde edilen **TiO_2 veya HfO_2 gibi optik kaplamalar**, yüksek kırılma indisi, lazer direnci ve çevresel koruma gibi özellikleriyle uydu aynalarında yansıtıcılığı artırmak ve yüzeyleri korumak amacıyla yaygın şekilde tercih edilmektedir.

Ayrıca, ALD süreçlerinde kullanılan plazma parametreleri (güç, frekans, gaz türü ve akış hızı) filmin iç gerilimini, yapışma kalitesini ve mikroyapısını doğrudan etkilediğinden, **proses optimizasyonu** film kalitesi açısından hayati öneme sahiptir.

Tabloda ince film biriktirme süreçlerine ait tabloda, kaplanmak istenen filmler ve bu filmlerin Termal ALD / Plazma ALD sistemlerine uygunluğu gösterilmiştir.

Malzeme	Metal Prekürsörü	Oksijen Kaynağı	Temp.	Not
Al_2O_3	TMA (Trimethylaluminum)	$\text{H}_2\text{O} / \text{O}_3$	150–300°C	Plazmasız uygundur
TiO_2	TiCl_4 / TDMAT	$\text{H}_2\text{O} / \text{O}_3$	100–250°C	Düşük sıcaklıkta TDMAT tercih edilir
HfO_2	TDMAH / HfCl_4	$\text{H}_2\text{O} / \text{O}_3$	150–300°C	Kimyasal kararlılığı yüksek
ZrO_2	TEMAZ / ZrCl_4	H_2O	150–250°C	Zor aşınan kaplama
SiO_2	Tris(tert-butoxy)silan	H_2O	200–300°C	Düşük kırılma indisi sağlar
Ta_2O_5	PDMATa	$\text{H}_2\text{O} / \text{O}_3$	200–300°C	Plazmasız sınırlı reaktivite
ZnO	DEZn (Diethylzinc)	$\text{H}_2\text{O} / \text{O}_3$	100–200°C	RF/IR absorpsiyona uygun

Not: Plazmalı sistem entegre edildiğinde O_2 plazma, N_2 plazma ya da NH_3 plazma ile düşük sıcaklıkta daha kaliteli filmler elde edilebilir.

Sonuç

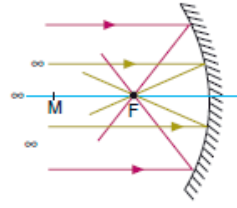
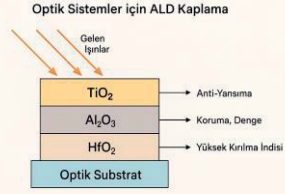
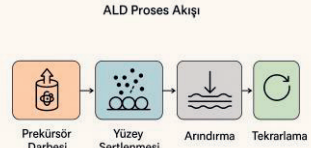
Uydu aynalarında uygulanan ALD kaplamalar, sistem **performansını artırmak ve uzay ortamındaki zorlu koşullara karşı uzun vadeli dayanıklılık sağlamak** açısından kritik rol oynar. Kaplama yöntemi seçimi, yalnızca malzeme türüne değil; aynı zamanda uygulamanın **spektral aralığı, termal dayanım gereksinimi ve mekanik stres toleransı** gibi mühendislik parametrelerine bağlıdır.

Örnek olarak:

Kızılötesi (IR) teleskop aynaları için, yüksek yansıtıcılığa sahip Altın (Au) kaplamaların üzerine PE-ALD ile uygulanan Al_2O_3 koruyucu katmanlar tercih edilir.

UV spektrometre aynaları için ise TiO_2 / SiO_2 çok katmanlı yapılar, termal ALD ile elde edilerek yüksek optik performans sunar.

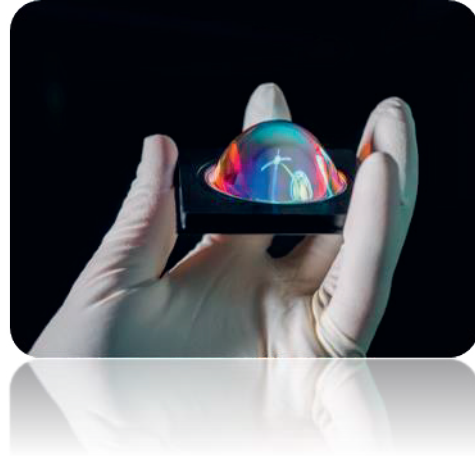
Sonuç olarak, uygun kaplama malzemesinin ve ALD yönteminin birlikte optimize edilmesi, uydu sistemlerinin **uzun vadeli güvenilirliği ve görev başarısı** için vazgeçilmezdir.

Yansıma	
Kaplama Şeması	
Proses Şeması	

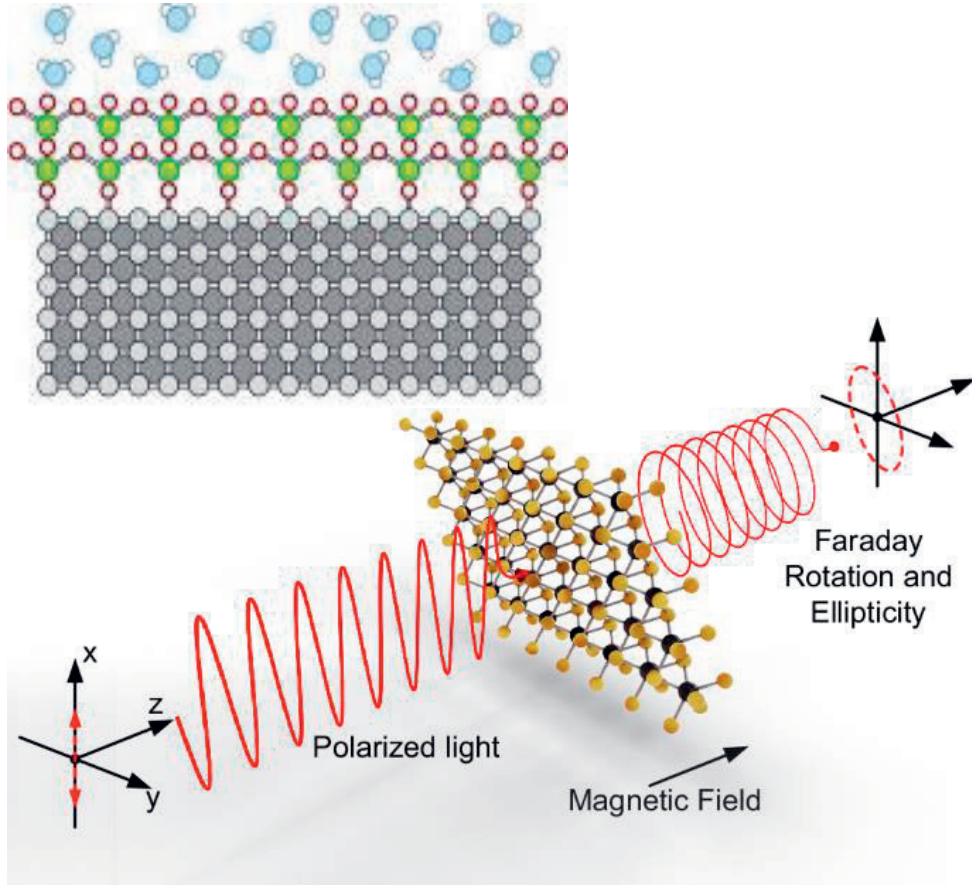


ALD dışbükey ve içbükey mercekler, küre mercekler veya ayna gibi optik bileşenlerin kaplanması

- Yansıma önleyici kaplamaların ve bant geçiren filtrelerin ALD Uygulamaları mevcuttur.



- Al_2O_3 , TiO_2 , ve $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ katmanlarının farklı yüzeylere korozyon önleme amacıyla uygulanması başarılı sonuçlar vermektedir.



***Listelenen ince film biriktirme önerileri ve özellikleri sadece örnek niteliğindedir. En uygun sonuçları elde etmek için süreçler, malzeme araştırmalarıyla ihtiyaçlara ve koşullara göre optimize edilmelidir.*

Mevcut Ekipmanımız ile Plazmasız Termal Kaplama Yapabiliriz

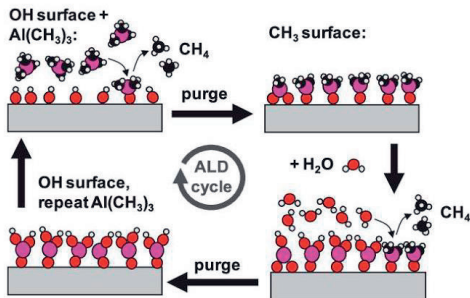


Mevcut ALD [Atomic Layer Deposition] Reaktörümüz ile ALD Teknolojisiyle termal kaplama yapabilmek için halihazırda elimizde bulunan gazlar şunlardır; (ihtiyaca göre elimizde şuan bulunmayan gazları da temin edebiliriz)

Malzeme	Al ₂ O ₃	ZnO	TiO ₂
Prekürsör A	TMA	DEZ	TiCl ₄
Prekürsör B	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O

İşinize özel örnek kaplamaları sizin için bu reaktörümüzde gerçekleştirebiliriz,

RA-200 ile Yüzey Kaplama



- **Otomasyon Seçenekleri**
 - Tek tip ve belirli bir kalınlıkta kaplama
 - Çoklu kaplama, katman katman kaplama
- **Veri Yönetimi**
 - Gerçek zamanlı veri kaydı ve analiz imkânı.
- **Hassas Kontrol Sistemleri**
 - Sıcaklık, Basınç ve Debi kontrolü
- **Kaplamaa yapılacak Parça Boyutları:**
 - 200 mm substrat boyutu (müşteri ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir).

Sizin için Örnek Reçete

Malzeme	Al ₂ O ₃	ZnO	TiO ₂	Sizin İhtiyacınız
Kaplama Türü	ALD	ALD	ALD	ALD, SVM, Doped
Reaktör Sıcaklığı	150 °C	150 °C	150 °C	0-300 °C
Gaz Hattı Sıcaklığı	75 °C	75 °C	75 °C	0-200 °C
Prekürsör Isıtması	-	-	-	0-150 °C
Prekürsör A	TMA	DEZ	TiCl ₄	A
Gönderim Süresi (s)	0,075	0,05	0,150	0,010 - 1
Prekürsör B	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	B
Gönderim Süresi (s)	0,075	0,050	0,075	0,010 - 1
Purge Süresi (s)	30	30	45	Purge Süresi
Inert Flow (SCCM)	180	180	180	0-100
Å / döngü	1,1	1,6	0,5	x Å

Yukarıdaki örnek reçete üzerindeki tüm parametreleri yeniden, sizin ihtiyacınıza uygun modelleyebilir, tekil yada katmanlı kaplama işlemleri için bir çok cycledan oluşan döngüler ile yeniden reçetelendirme işlemlerini gerçekleştirebiliriz.

- Reaktör Sıcaklığı
- Gaz Hattı Sıcaklığı
- Prekürsör Isıtması
- Prekürsör Varyantları
- Gönderim Süresi (s)
- Purge Süresi
- Inert Flow (SCCM)

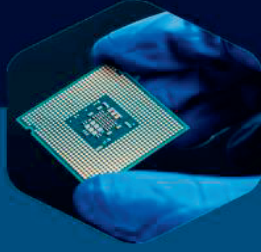
ALD

Teknolojisiyle

IHA, SIHA, Uzay ve Havacılık
sektörlerine yönelik

KAPLAMA Reaktörü

ALD Teknolojisi



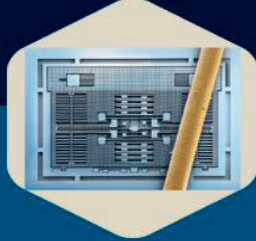
Semiconductor



Optical Materials



Materials Science



MEMS



Medical

**İşinize Özel
Esnek Tasarım ve Yazılım
Çözümlerini**

İnce Film Biriktirme
Thin Film Coating

**Teknolojisi ile birlikte
sunuyoruz**

NS-TECH®
Teknoloji Uygulamaları San.ve Tic.Ltd.Şti

ALD Atomic Layer Deposition

Yöntemi ile Üstün Yetenekli Kaplama Teknolojisi

ALD Teknolojisinin Savunma Sanayii, İHA, SiHA, Uzay ve Uydu Sistemlerindeki Uygulama Alanları ve Fırsatları

Atomic Layer Deposition (ALD), atomik seviyede hassas ve homojen ince film kaplamalar üreten bir teknolojidir. Savunma, insansız hava araçları (İHA), uzay ve uydu sistemleri gibi kritik sektörlerde malzeme dayanıklılığı, performans artışı ve miniaturizasyon için önemli fırsatlar sunar.

Potansiyel Uygulamalar

1. İHA ve Yakın Uzay Platformlarında Malzeme Dayanıklılığı

- Korozyon ve Aşınma Direnci:** Yakın uzayda (20-100 km) görev yapan platformlar, ozon yoğunluğu, düşük atmosfer basıncı ve sıcaklık dalgalanmalarına (-57°C ila -23°C) maruz kalır. ALD ile titanyum nitrür (TiN) veya alümina (Al₂O₃) kaplamalar, elektronik bileşenlerin bu şartlarda korunmasını sağlayabilir.
- Hafif ve Yüksek Performanslı Yapılar:** Güneş enerjisiyle çalışan stratosferik İHA'lar (örneğin Stratobus), ALD ile kaplanmış kompozit malzemeler sayesinde hem hafiflik hem de mekanik dayanım kazanabilir.

2. Uydu ve Uzay Sistemlerinde Kritik Çözümler

- Radyasyon Koruması:** Alçak dünya yörüngesindeki uydular, yüklü parçacıklar ve uzay radyasyonu nedeniyle elektronik arızalara açıktır. ALD ile üretilen tantalum oksit (TaO) veya HfO₂ kaplamalar, bileşenleri radyasyona karşı koruyarak ömürlerini uzatabilir.
- Termal Yönetim:** Uydularda sıcaklık dalgalanmalarına karşı ALD ile titanyum alaşımları kullanılarak ısı yalıtımı veya iletkenliği optimize edilebilir.

3. Sensör ve Optik Sistemlerde Performans Artışı

- Yüksek Çözünürlüklü Görüntüleme:** İHA'larda kullanılan elektro-optik ve termal kameraların lensleri, ALD ile anti-reflektif kaplanarak ışık geçirgenliği artırılabilir. Bu, keşif ve hedef tespit yeteneklerini geliştirir.
- Kimyasal Sensörler:** Gaz sensörleri, ALD ile üretilen nano tabakalarla daha hassas hale getirilebilir. Örneğin, sınır güvenliğinde kimyasal madde tespiti için kullanılabilir.

4. Haberleşme ve Elektronik Sistemlerde Miniaturizasyon

- **Yüksek Frekanslı Devreler:** Uydu terminallerinde kullanılan **RF** ve **Ka-band antenler**, ALD ile kaplanarak sinyal kayıpları azaltılabilir. CTech'in geliştirdiği geniş bant sistemlerde bu teknoloji, veri aktarım hızını artırabilir.
- **Mikroelektronik Koruma:** İHA'ların yer kontrol sistemlerindeki entegre devreler, ALD ile neme ve oksidasyona karşı korunabilir.

5. Savunma Sanayinde Yenilikçi Mühimmat ve Platformlar

- **Akıllı Mühimmatlar:** ALD ile kaplanmış patlayıcı sensörleri, sıcaklık ve nem değişimlerine karşı stabilite sağlar. STM'nin KARGU gibi vurucu İHA'larında bu tür kaplamalar hedefleme doğruluğunu artırabilir.
- **Gizlilik Kaplamaları:** Stealth teknolojisi için ALD ile radar emici malzemeler (RAM) üretilebilir. Bu, İHA'ların düşman radar sistemlerinden kaçınmasını kolaylaştırır.

SİHA'lar için Büyük Avantajlar Sağlayabilir

1. Hava Aracı Yapısal Dayanıklılığı

- **Korozyon ve Aşınma Direnci:** SİHA'lar, yüksek irtifalarda, nemli veya tuzlu ortamlarda (deniz üssü operasyonları) görev yapar. ALD ile alümina (Al_2O_3) veya titanyum nitrür (TiN) kaplamalar, kompozit gövde ve motor parçalarını korozyona karşı korur.
 - **Örnek:** Bayraktar TB2'nin kanat yapılarına ALD uygulanarak Pasifik veya Akdeniz gibi tuzlu ortamlarda ömrü uzatılabilir.
- **Termal Stabilite:** SİHA motorları ve egzoz sistemleri aşırı ısınır. ALD ile itriyum oksit (Y_2O_3) kaplamalar, termal bariyer görevi görerek malzeme deformasyonunu önler.

2. Sensör ve Hedefleme Sistemlerinde Hassasiyet

- **EO/IR Kameralar:** Elektro-optik ve termal kameraların lensleri, ALD ile **anti-reflektif kaplanarak** (%99,5 ışık geçirgenliği) gece görüş ve hedef tanıma yeteneği artırılabilir.
 - **Örnek:** Akıncı SİHA'da kullanılan CATS (Common Aperture Targeting System) sisteminin optik kalitesi iyileştirilebilir.
- **LIDAR ve Radar Sistemleri:** ALD ile **silikon karbür (SiC)** kaplamalar, yüksek frekanslı radar dalgalarının iletim verimliliğini artırır.

3. Mühimmat ve Füze Sistemlerinde Stabilité

- **Akıllı Mühimmatlar:** SİHA'lardan fırlatılan MAM-L gibi güdümlü mühimmatların elektronik ateşleme sistemleri, ALD ile **nem ve statik elektrikten korunabilir**.
 - Örnek: Roketsan'ın Mini Akıllı Mühimmatı'nda (MAM) nano kaplamalı devreler, %30 daha az arıza riski sunar.
- **Termal Güdüm:** Kızılötesi arayıcı başlıklar, ALD ile **grafen tabakalarla** kaplanarak hedef izleme hassasiyetini korur.

4. Gizlilik ve Stealth Teknolojisi

- **Radar Emici Malzemeler (RAM):** ALD ile **karbon nanotüp** veya **ferrit bazlı** nano kaplamalar, SİHA'ların radar kesit alanını (RCS) küçülterek düşman radar sistemlerinden gizlenmesini sağlar.
 - Örnek: Türkiye'nin GÖKSUNGUR SİHA'sı gibi yüksek hızlı platformlarda stealth yetenekler artırılabilir.
- **Termal İz Azaltma:** Egzoz ısını maskelemek için ALD ile **seramik matris kompozitler** kullanılabilir.

5. İletişim ve Elektronik Harp

- **Yüksek Frekanslı Antenler:** SİHA'ların veri link antenleri, ALD ile **altın veya gümüş nano tabakalarla** kaplanarak sinyal kaybı azaltılır. Bu, **ANKA SİHA** gibi platformlarda 100 km ötesine kesintisiz veri akışı sağlar.
- **EMP Direnci:** ALD ile **grafen oksit** kaplamalar, elektronik sistemleri elektromanyetik darbelere (EMP) karşı korur.

Sonuç

ALD İnce film kaplama yöntemlerinden biridir ve atomik seviyede kontrol sağlayarak son derece ince, homojen ve pürüzsüz filmler oluşturur.

ALD teknolojisi, savunma ve uzay sektörlerinde malzeme biliminden elektroniğe kadar geniş bir yelpazede dönüştürücü bir rol oynayabilir.

Özellikle Türkiye'nin Milli İHA, SİHA ve uydu projelerinde (ANKA, Bayraktar TB2, ALPAGU) bu teknolojinin uygulanması için **NSTECH** olarak üzerimize düşen görevlere hazır olduğumuzu belirtmek istiyoruz. Ülkemizin, Yerli ve Milli ürünlerimizin küresel rekabette stratejik bir avantaj sağlamasına katkıda bulunmak istiyoruz.



nstech.tech

+90 533 470 91 25

adem.sahiner@nstech.tech