

Beschichtungen

Forschung und Entwicklung:

Anwendungen – Materialien – Substrate –
Technologien – Systeme

Vorwort

Beschichtungen von höchster Präzision werden für zahlreiche Anwendungen in Optik, Elektronik, Sensorik, Energie- und Medizintechnik, Maschinenbau- und Automobiltechnik benötigt. Das Fraunhofer FEP entwickelt Prozesse und Technologien, um beispielsweise elektrische, optische, akustische oder magnetisch wirksame Schichten und Schichtsysteme mit Vakuumverfahren präzise und homogen auf große Flächen aufzubringen. Neben der hohen Umweltverträglichkeit besteht der Vorteil unserer Verfahren in der fast unerschöpflichen Palette abscheidbarer Schichtmaterialien, die weit über die der konventionellen Oberflächenveredelungsverfahren hinausgeht.

Für unsere Kunden entwickeln wir effiziente Technologien zur Herstellung innovativer Produkte, für deren Funktionen die Kombination verschiedener Schichteigenschaften wesentlich ist. Unser Service reicht von der Machbarkeitsstudie über die Schichtstapelentwicklung, Kleinserienbeschichtung

und Pilotproduktion bis hin zum Transfer der Technologie in die Produktion auf Basis leistungsfähiger, im Fraunhofer FEP entwickelter Komponenten. Außerdem erweitern wir ständig die Palette der von uns einsetzbaren Substratmaterialien sowie der Beschichtungstechnologien und dringen damit in neue Anwendungen vor.

Auf den folgenden Seiten finden Sie einen Auszug an Schichtentwicklungen und Beschichtungen, dargestellt aus dem Blickwinkel der verschiedenen und vielseitigen späteren Anwendungsfelder, die das Fraunhofer FEP in seiner über 25-jährigen Forschungstätigkeit realisiert hat. Diese Ausführungen sollen einen Einblick in die Möglichkeiten geben, die wir Ihnen bieten können. Natürlich sind alle Kombinationen und Schichtentwicklungen hinsichtlich der Materialien, Prozesse und kunden- sowie anwendungsspezifischen Gegebenheiten und Parameter anpassbar.



Optik und Dekor

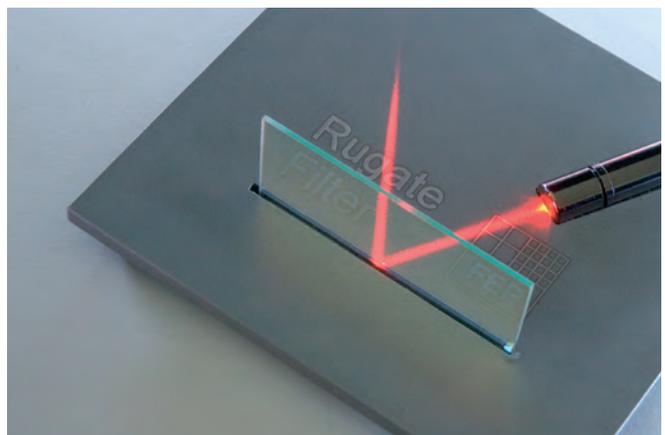
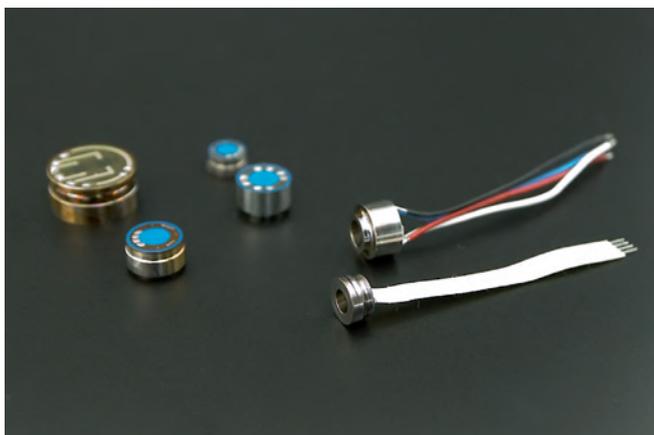
| Anwendungen | Materialien | Substrate | Technologien |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Antireflex (AR)/Antireflex-Antistatik (ARAS) | Dielektrika: Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO , Nb_2O_5 , SiO_2 , Si_3N_4 , SnO_2 , Ta_2O_5 , TiO_2 , ZnO , ZrO_2 | Glas, Kunststoffe, Metallbänder, Metallplatten | Unipolares oder bipolares Magnetron-Sputtern, Hochrate-Elektronenstrahlverdampfung, plasma-aktivierte Elektronenstrahlbedampfung, anodische Bogenverdampfung |
| Elektromagnetische Abschirmung elektronischer Geräte | Transparente leitfähige Oxide (TCO): ITO, IZO, ZnO-basierte TCO, TiO_2 -basierte TCO | | |
| Energieeffizientes Bauen (low-E, solar control) | | | |
| Spiegelschichten (hochreflektierende Spiegel, barocke Verspiegelungen, Blauspiegel) | Metalle: Ag, Al, Cr, Cu, Mo, Sn, Ta, Ti, Zr, TiN | | |
| Dekorative Schichten | | | |
| Optische Filter für Laseroptiken, Spektroskopie-Anwendungen | SiO_2 , Si_3N_4 , Ta_2O_5 , TiO_2 , Al_2O_3 , HfO_2 , Nb_2O_5 | Glas, Plastik | Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern, Hochrate-PECVD |
| Antireflex-Schichten auf Brillengläsern | | | |
| Anti-Fälschungsetiketten, Dekorfolien | SiO_2 , TiO_2 , Ag, Al | Polymerfolien, dünne Metallfolien, flexibles Glas, Membranen, Textilien, Papier, strahlhärtable Lacke | Puls-Magnetron-Sputtern, Hochrate-PECVD, Hochrate-Elektronenstrahlverdampfung, Plasma- und Ionenoberflächenbehandlung, Schlitzdüsenbeschichtung, Elektronenstrahl-Lackhärtung |


 Wir entwickeln Ihre passgenaue, anwendungsspezifische Beschichtungslösung!«



Elektronik / Sensoren

| Anwendungen | Materialien | Substrate | Technologien |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hochbarriere- und Funktionsfolien für die flexible und organische Elektronik Solarzellen | ZnSnO, TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Organik, strahlen- härtende Lacke, Ormocere | Polymerfolien, dünne Metall- folien, flexibles Glas (Dicke: 50 µm ... 100/200 µm | Puls-Magnetron-Sputtern, Hochrate- PECVD, Hochrateverdampfung, Plasma- und Ionenoberflächenbehandlung, Schlitzdüsen- beschichtung, Elektronenstrahl-Lackhärtung, Atomic Layer Deposition (ALD) |
| Piezoelektrische Anwendungen: ▪ Mikrosysteme (MEMS), BAW, SAW ▪ elektroakustische Bauelemente ▪ Ultraschallmikroskopie ▪ Piezoaktorik und -sensorik ▪ Systeme zur Mikroenergiegewinnung | Kristalline AlN- und AlScN-Schichten mit starker c-Achsen- Orientierung | Silizium, Stahl, LiNbO ₃ , LiTaO ₃ , Quarz | Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern, Magnetron-PECVD |
| Elektrische Isolationsanwendungen: ▪ Sensoren (u. a. bauteilintegriert) ▪ Mikroelektronik ▪ Photovoltaik | Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Si ₃ N ₄ , Al _x O _y N _z | Silizium, Stahl, Kupfer, Aluminium, Glas, Keramik | Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern, Magnetron-PECVD |
| Wärmeabfuhr-Bauelemente: ▪ Laserdioden ▪ Elektronikkühlung ▪ Thermoelektrik, Peltierkühler ▪ Elektronikentwicklung | AlN, Al _x O _y N _z | Kupfer, Aluminium | Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern, Magnetron-PECVD |
| Passivierungs-, Schutz- und Barrierschichten: ▪ Sensoren ▪ Elektronikbauelemente | Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Si ₃ N ₄ | Silizium, Stahl, Kunststoffe, Glas | Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern, Magnetron-PECVD |
| Elektronische und MEMS-Komponenten | SiO ₂ , TaN, HfO ₂ | Silizium, Keramik, Titan, LiNbO ₃ , LiTaO ₃ , Covar | Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern, Magnetron-PECVD |
| Gas- und Feuchtsensoren | TiO ₂ , Fe, Ag, CuSn | Silizium, Keramik, Glas | Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern, Magnetron-PECVD |
| Multilayer für elektrische Isolations- schichten mit Parylene | Parylene | Glas, Polymerfolie, Metall- folie, Silizium, Dünnglas, Leiterplatten | CVD bei Raumtemperatur |



Korrosions-/Kratzschutz

| Anwendungen | Materialien | Substrate | Technologien |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Korrosionsschutz | Ti, Al, Cr, Cu, Sn, ZnMg, Zn Dicke: 10 µm | Stahl, Edelstahl, vorbeschichteter Stahl, Kupfer, Aluminium und deren Legierungen | Vakuumbasiert, z. B. physikalische Dampf- abscheidung (PVD) |
| | Parylene | Glas, Polymerfolie, Metallfolie, Silizium | CVD bei Raumtemperatur |
| Verschleißschutz, Reibungs- minderung, Kratzschutz, Korrosionsschutz | a-C, ta-C (wasserstofffreie amorphe Kohlenstoffschichten) | Stahl, Edelstahl, Hartmetall, Werkzeuge, Stahlblech | Plasma-unterstützte Elektronenstrahlverdampfung |
| Transparenter Kratzschutz | SiO _x , Al ₂ O ₃ Dicke: 1 ... 10 µm strahlenhärtende Lacke | Dekorfolien, Dekorpapiere, High-Pressure-Laminat (HPL)- Platten | Plasma-unterstützte Elektronenstrahlverdampfung, Elektronenstrahl-Lackhärtung |

Energiewandlung, -transport und -speicherung sowie Batterietechnik

| Anwendungen | Materialien | Substrate | Technologien |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stromableiter für Batterien und Solarzellen | Cu, Al | Polymerfolien, Silizium-Wafer | Magnetron-Sputtern, Elektronenstrahlverdampfung, thermische Verdampfung |
| Dünnschicht-Photovoltaik | CdTe, CdS, Mo, CIGS, TCO | Glas, Metallfolie | Close Spaced Sublimation (CSS), Plasma-enhanced Close Spaced Sublimation (PECSS), Magnetron-Sputtern, thermische Verdampfung, anodische Bogenverdampfung |
| Kristalline Photovoltaik | TCO, AlN, Perovskite (für Tandemzellen), Si-Dünnschichtabsorber | Silizium-Wafer, Glas, Stahl | Magnetron-Sputtern, anodische Bogenverdampfung, thermische Verdampfung, Elektronenstrahlverdampfung, Elektronenstrahlkristallisation |
| Anodenmaterialien für Li-basierte Batterien | Silizium | Metallfolie | Magnetron-Sputtern, Hochrate-Elektronenstrahlverdampfung |
| Feststoffelektrolyte | LiPON | Metall | Thermische Verdampfung, Elektronenstrahlverdampfung |



Permeations-Barrierschichten

| Anwendungen | Materialien | Substrate | Technologien |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nicht-optische Funktionsschichten: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Magnetische Speicher ▪ Kratzschuttschichten auf Kunststoff ▪ Oberflächenmetallisierung ▪ Hartstoffschichten | Dielektrika: Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO , Nb_2O_5 , SiO_2 , Si_3N_4 , SnO_2 , Ta_2O_5 , TiO_2 , ZnO , ZrO_2 Transparente leitfähige Oxide (TCO): ITO, IZO, ZnO-basierte TCO, TiO_2 -basierte TCO Metalle: Ag, Al, Cr, Cu, Mo, Sn, Ta, Ti, Zr | Glas, Kunststoffe | Unipolares oder bipolares Magnetron-Sputtern, anodische Bogenverdampfung |
| Beschichtung flexibler Materialien: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Barrierefolien für Verpackungen ▪ Hochbarriere für Verkapselung von elektronischen Komponenten (z. B. Solarzellen, Wearables, OLEDs, ...) ▪ Ultrahochbarrierschichten in Kombination mit ALD oder Sputterschichten ▪ Barrierefolien und -substrate ▪ Direktverkapselung (3D) | Al_2O_3 , SiO_2 , ZnSnO , SiN , Al, strahlenhärtende Lacke, Ormocere Parylene | Polymerfolien | Puls-Magnetron-Sputtern, Hochrate-PECVD (arc-PECVD), Hochrateverdampfung, Elektronenstrahl-Lackhärtung, Schlitzdüsenbeschichtung |
| Korrosionsschutz | Strahlenhärtende Lacke | Glas, Polymerfolie, Metallfolie, Silizium, Dünnglas, Leiterplatten | CVD bei Raumtemperatur |
| | | Polymere, Holz, Blech, Papiere, Folien, Glas, Keramik, Metall | Elektronenstrahl-Lackhärtung |



Bauteile, Komponenten, Schüttgüter

| Anwendungen, Funktionen | | Materialien | Substrate | Technologien |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Elektrische Funktion | Elektrische Leitfähigkeit, elektromagnetische Abschirmung | Metalle, Legierungen, Transparente leitfähige Oxide | Steckerkontakte, Chemieanlagenkomponenten, Kunststoffgehäuse | Elektronenstrahlverdampfung, Puls-Magnetron-Sputtern, anodische Bogenverdampfung |
| | Elektrische Isolation | Metall- und Halbleiteroxide | Additiv gefertigte Kontaktstrukturen | Elektronenstrahlverdampfung, Puls-Magnetron-Sputtern |
| Thermische Funktion | Thermische Leitfähigkeit | Metalle | Wärmespeichergranulat | Thermische Verdampfung |
| | Thermische Isolation | Stabilisiertes ZrO ₂ | Turbinenschaufeln | Elektronenstrahlverdampfung |
| Chemische Barrierefunktionen | Korrosionsschutz | Aluminium-basiert, Cr, CrN | Nietverbinder, Strukturbauteile in der Luftfahrt | Thermische Verdampfung Puls-Magnetron-Sputtern |
| Mechanische Schutzfunktionen | Verschleißschutz | Hartstoffschichten | Werkzeuge, Transmissionskleinteile | Puls-Magnetron-Sputtern |
| | Reibungsminderung | Metalllegierungen (AlSn-Basis) | Gleitlager | Elektronenstrahlverdampfung, Puls-Magnetron-Sputtern, Hochrate-PECVD |
| | Kratzschutz | Kohlenstoffbasierte Materialien | Automobil- und Maschinenbaukomponenten | |
| | | Metallnitride | Gebrauchsgegenstände | Puls-Magnetron-Sputtern |
| Dekorative Funktionen | Metalloptik | Metalle | Kunststoffbauteile, Sanitärrohre | Puls-Magnetron-Sputtern |
| | Körperfarben | Metallnitride | Beschläge, Brillengestelle | Puls-Magnetron-Sputtern |
| | Interferenzfarben | Metalloxide | Medizinische Instrumente | Puls-Magnetron-Sputtern |
| Sonstige Funktionen | Spezifische optische Funktion | Solare Absorberschichtsysteme | Solkollektor-Röhren | Puls-Magnetron-Sputtern |
| | Photoaktivierbarkeit, Photokatalytische Funktion | Titanoxid | Dentalimplantate | Puls-Magnetron-Sputtern |



Biomedizinische Applikationen

| Anwendungen | Materialien | Substrate | Technologien |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biokompatibilität für Verpackung und Verkapselung | Parylene | Glas, Dünnglas, Polymerfolie, Metallfolie, Silizium | CVD bei Raumtemperatur |
| Biokompatibilität | ITO, ZnO:Al, AZO, TiO ₂ , Ag, Cu | Kunststoffe, Metalle, thermolabile Stoffe, organische Materialien und Gewebe, Keramiken, Textilien, Hydrogele, elektronische Bauteile, Polymerfolien, Glas, Keramik, Textilien, Metalle | Elektronenstrahlbehandlung, Plasmabehandlung, vakuumbasierte Verfahren zur Dünnschichtabscheidung, Rolle-zu-Rolle-Beschichtung von flexiblen Materialien |
| Biofunktionalität | | | |
| Antimikrobielle Beschichtungen | Ag, Cu, Ag & Cu, TiO ₂ , dotiertes TiO ₂ | | |
| Elektronenstrahl-basiertes Grafting | | | |

Sonstige funktionale Beschichtungen

| Anwendungen | Materialien | Substrate | Technologien |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Hartstoffschichten | TiN, TiC, WC, Al ₂ O ₃ , a-C(H)(C:Ti/W) | Metallbänder, Metallplatten | Puls-Magnetron-Sputtern, plasmagestützte Elektronenstrahlverdampfung |
| Elektrisch leitend | Al, Cu, Sn, Mo | Metallbänder, Metallplatten | Puls-Magnetron-Sputtern, plasmagestützte Elektronenstrahlverdampfung |
| Löt- und schweißbar | Cu, Sn, Si | Metallbänder, Metallplatten | Puls-Magnetron-Sputtern, plasmagestützte Elektronenstrahlverdampfung |
| Photokatalytisch | TiO ₂ , TiO _x N _y | Metall, Glas, Keramik, Kunststoffe | Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern, plasmagestützte Elektronenstrahlverdampfung |
| Photo-induzierte superhydrophile Beschichtung | TiO ₂ , TiO _x N _y | Silizium, Keramik, Glas, Metall, Lithiumniobat, Lithiumtantalat | Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern, plasmagestützte Elektronenstrahlverdampfung |
| Funktionelle Schichten für elektroakustische Bauelemente | SiO ₂ , TaN, F:SiO ₂ , AlN, AlScN | | Reaktives Puls-Magnetron-Sputtern, Magnetron-PECVD |
| Substratglättung Laserstoppschicht | Parylene | Silizium | CVD bei Raumtemperatur |



Vorbehandlung für Beschichtungen

Um Substrate effektiv beschichten zu können, ist es in der Regel notwendig und sinnvoll, die Oberflächen vorzubehandeln. Das Fraunhofer FEP verfügt über ein langjähriges Know-how in verschiedenen Verfahren zur Vorbehandlung oder Oberflächenfunktionalisierung, durch die die Grundlage für eine hochwertige Beschichtung und Schichthaftung geschaffen wird.

Reinigungstechnologien

Essenziell dabei ist eine abgestimmte Reinigungstechnologie, damit die Schichtsysteme haftfest aufgebracht werden können. Reinigung ist somit ein wichtiger Schritt in der Wertschöpfungskette, der die Grundlage bildet, um Ausschuss zu minimieren, Kosten zu senken und qualitativ hochwertige Produkte herzustellen.

Verschiedenste Verunreinigungen, zum Teil bis in atomare Größenordnungen, sowie unterschiedliche Anforderungen an die Oberflächen verlangen eine Palette an unterschiedlichen Reinigungsverfahren, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Diese Palette umfasst am Fraunhofer FEP unter anderem die nasschemische Fein- bzw. Feinstreinigung für metallische Bauteile oder Präzisionsteile aus Glas und Kunststoff, die Plasmareinigung für Bauteile aus Metall und Kunststoff im Vakuum, die lokale Funktionsflächenreinigung mit dem Elektronenstrahl im Vakuum und die Sterilisation, Desinfektion und Inaktivierung mit beschleunigten Elektronen.

Oberflächenfunktionalisierung

Weiterhin wird am Fraunhofer FEP an der Oberflächenfunktionalisierung geforscht und gearbeitet. Hierbei kommen beschleunigte, niederenergetische Elektronen zum Einsatz,

die die betreffenden Oberflächen gezielt behandeln und beispielsweise antibakterielle Wirkungen oder selbstreinigende Oberflächen erzeugen. Durch die Elektronenstrahlbehandlung kommt es z. B. zu einer Anpassung der Benetzbarkeit der Oberfläche (Oberflächenhydrophilie). So kann die Interaktion der Oberfläche mit der Umwelt gezielt beeinflusst werden.

Elektronenstrahl-Härten

Eine besondere Art der Oberflächenbearbeitung ist das Härten geeigneter Eisenwerkstoffe mit dem Elektronenstrahl. Dabei führt ein fokussierter, hochfrequent über die Werkstückoberfläche abgelenkter Elektronenstrahl zu einer schnellen, lokalen und auch in der Eindringtiefe exakt dosierbaren Erwärmung des Materials. Die hohe Wärmeleitung in das umgebende Material erzwingt danach eine große Abkühlgeschwindigkeit ohne zusätzliche Kühlmittel (Selbstabschreckung), die bei geeigneten Materialien zu einer Härtung dieser Randschicht führt. Damit können lokale Funktionsflächen mit exzellenten Verschleißigenschaften hergestellt werden.

Oberflächenglättung

Darüber hinaus kann der Elektronenstrahl dazu genutzt werden, raue Oberflächen vieler metallischer Bauteile zu glätten und so für eine Beschichtung vorzubereiten. Das Verfahren ist damit insbesondere für die Nachbearbeitung additiv gefertigter Teile geeignet. Wirkprinzip ist, dass durch den lokalen Energieeintrag ein kurzzeitiges oberflächliches Aufschmelzen bewirkt wird. Die entstehende Schmelze erstarrt umgehend wieder, wobei die Oberflächenspannung zu einer Einebnung der Höhenunterschiede führt. Die Glättung erfolgt bei geeigneter Wahl der Parameter flächig homogen und weitestgehend ohne einen Materialabtrag.



Technologien / Prozesse

Elektronenstrahltechnologie



Wir bieten langjährige Expertise auf dem Gebiet der Elektronenstrahl-Technologien, mit der wir beschleunigte Elektronen im Energiebereich von 10 bis 300 keV in einer großen Anwendungsbreite technologisch nutzbar machen. Dabei schöpfen wir sowohl die thermischen Wirkungen beschleunigter Elektronen als auch ihre chemischen und biologischen Wirkungen aus.

Unsere Stärke ist es, Elektronenstrahl-Technologien für die industrielle Produktion tauglich zu machen. Eine wesentliche Alleinstellung ist die Kombination von technologischen und technischen Prozessentwicklungen sowie die Entwicklung spezieller Elektronenstrahl-Quellen aus einer Hand.

Plasmatechnologie

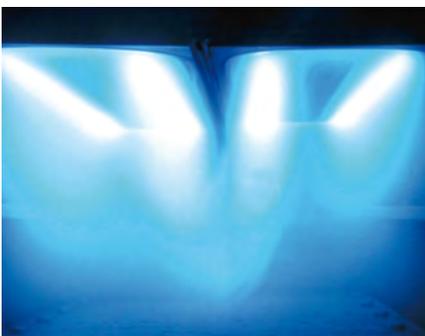


Plasmagestützte Beschichtungsverfahren erlauben die Herstellung maßgeschneiderter Schichten für viele Anwendungsbereiche. Unsere Stärke ist es, diese plasmagestützten Beschichtungsverfahren für die industrielle Produktion und die Beschichtung großer Flächen zu qualifizieren.

Die Kernkompetenz umfasst die PVD-Verfahren plasmaaktivierte Hochratebedampfung und Puls-Magnetron-Sputtern sowie PECVD-Verfahren zur plasmaaktivierten chemischen Dampfphasenabscheidung mit verschiedenen leistungsfähigen Plasmaquellen. Eine wesentliche Alleinstellung ist die Kombination von äußerst dichten Plasmen mit extrem hohen Beschichtungsraten für die wirtschaftliche Abscheidung von qualitativ hochwertigen Schichten.

Die Verbindung von Wirtschaftlichkeit mit Präzision hinsichtlich Prozessführung und Schichteigenschaften ermöglicht neue Anwendungen. Für diese Beschichtungsverfahren entwickeln wir zusätzlich die zur Sicherung der Schichthaftung notwendigen Reinigungsverfahren sowie Plasmavorbehandlungen.

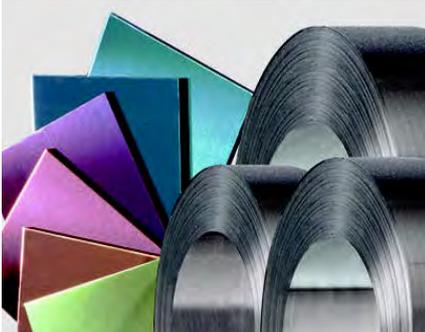
Sputtertechnologie



Die Sputtertechnologie am Fraunhofer FEP ist ein hochentwickeltes Verfahren zur Beschichtung von Materialien. Durch das Aufbringen dünner Schichten mittels Kathodenzerstäubung können Oberflächeneigenschaften wie Härte, Korrosionsbeständigkeit und optische Eigenschaften verbessert werden. Diese Technik wird in verschiedenen Industrien eingesetzt, um die Leistungsfähigkeit und Langlebigkeit von Produkten zu erhöhen. Das Fraunhofer FEP nutzt fortschrittliche Sputtermethoden, um innovative Lösungen für komplexe Beschichtungsanforderungen zu entwickeln.

Substrate

Metallische Platten und Bänder



Schüttgut und 3D-Bauteile



Flexible Folien



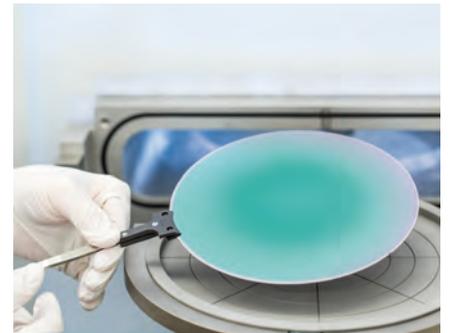
Ultradünnglas



Werkzeuge



Wafer



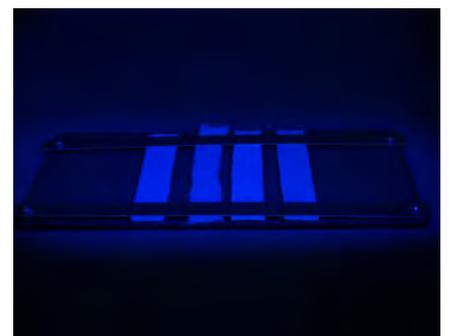
Kulturgüter (entschichten)



Saatgut (behandeln)



Gewebe und Textilien



Kontakt

**Fraunhofer-Institut für
Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP**
Winterbergstr. 28
01277 Dresden

Ansprechpartner

Annett Arnold, M. Sc.
Telefon +49 351 2586-333
annett.arnold@fep.fraunhofer.de

www.fep.fraunhofer.de

Folgen Sie uns!



Wir setzen auf Qualität und die ISO 9001.



Bildnachweis

Titel: Jürgen Lösel
Thomas Ernsting: 9L
Fraunhofer FEP: 4R, 5R, 6L, 7R, 10O,
10M, 10U, 11OL, 11OM, 11MM, 11UL
Jan Hosan: 6R, 11OR
Finn Hoyer: 4L, 7L, 11UR
iStockphoto.com/fhgfep: 11UM
Jürgen Lösel: 3R, 9R, 11ML
Pixabay: 5L
Anna Schroll: 11MR
Janek Wiczorek: 3L, 7R, 8L, 8R