



Grundlagen der Oberflächentechnik

Introduction to Surface Science and Engineering

Prof. Dr. rer. nat. habil. Xin Jiang

Vorlesung
Institut für Werkstofftechnik der Uni-Siegen
Wintersemester 2008/2009



W i s s e n s c h a f f t P e r s p e k t i v e n

Kenn-Nr.:	MB4-208
Titel:	Grundlagen der Oberflächentechnik
SWS/ECTS-Credits:	2/2,5
Lernziele:	Durch die Komplexität technischer Entwicklungen und den steigenden Anforderungen an Bauteile und Maschinen wird die Oberfläche immer extremeren Beanspruchungen ausgesetzt. Die Aufgabe der Oberflächentechnik ist die maßgeschneiderte Anpassung der Oberfläche bzw. Randschicht an ihre Beanspruchung oder Funktion. Die Vorlesung bietet einen Einblick in den Aufbau von Oberflächen, deren Charakterisierung und betrachtet die Ursachen des Versagens von Bauteilen.

Inhaltverzeichnis

1 Allgemeines

- 1.1 Definition Oberflächentechnik
- 1.2 Beanspruchung von technischen Oberflächen
- 1.3 Einteilung der Verfahren der Oberflächentechnik
- 1.4 Anwendungsbeispiele

2 Theoretische Grundlagen der Oberflächentechnik

- 2.1 Werkstoff und deren Oberflächen
 - 2.1.1 Festwerkstoffe
 - 2.1.2 Oberfläche – Grenzfläche – Randschicht
- 2.2 Eigenschaften von Oberflächen
 - 2.2.1 Oberflächenenergie – Grenzflächenenergie – Benetzung
 - 2.2.2 Adsorption – Desorption
 - 2.2.3 Volumendiffusion – Oberflächendiffusion: Sinterprozess
 - 2.2.4 Morphologie physikalisch idealer Oberflächen
 - 2.2.5 Morphologie technischer Oberflächen

3 Charakterisierung von Oberflächen

3.1 Morphologie

3.1.1 Lichtmikroskopie

3.1.2 Rasterelektronenmikroskopie

3.1.3 Transmissionselektronenmikroskopie

3.1.4 Tunnelmikroskopie

3.1.5 Feldionenmikroskopie

3.1.6 Ultraschallmikroskopie

3.1.7 Verfahren zur Profilbestimmung

3.2 Eigenschaften

3.2.1 Messung der Reflexion

3.2.2 Härtemessung

3.2.3 Grundlagen der Schichthaftung - Ritztest

3.2.4 Messung von Eigenspannungen

3.3 Chemische Zusammensetzung

3.3.1 Glimmentladungs- Spektroskopie (GDOS)

3.3.2 wellenlängendispersive Röntgenmikroanalyse (WDX)

3.3.3 energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDX)

3.3.4 Augerelektronenspektroskopie (AES)

3.3.5 Photoelektronenspektroskopie (XPS/ ESCA, UPS)

3.3.6 Sekundärionenmassenspektroskopie (SIMS)

3.3.7 Infrarotspektroskopie (IR-)

4 Tribologische Beanspruchung von Oberflächen

- 4.1 Einleitung
- 4.2 Grundlagen
- 4.3 Einflussfaktoren auf Reibung und Verschleiß
- 4.4 Prüftechnik
- 4.5 Verschleißschützende Maßnahmen

5 Chemische Korrosion und Korrosionsschutz

- 5.1 Elektrolytische Korrosion
- 5.2 Heißgaskorrosion
- 5.3 Wechselverformung

6 Prinzipielle Möglichkeiten der Oberflächenbehandlung

- 5.1 Abtragen
 - 5.1.1 Mechanische Abtragen
 - 5.1.2 Physikalische Abtragen: Verdampfen und Zerstäuben
 - 5.1.3 Reaktive (chemisch/elektrochemisch) Abtragen
- 5.2 Auftragen
 - 5.2.1 Großvolumige Teile
 - 5.2.2 Schmelze/Suspension/Lösung
 - 5.2.3 Tröpfchen
 - 5.2.4 Atome/Ionen

1 Allgemeines

1.1 Definition Oberflächentechnik

1.2 Beanspruchung von technischen Oberflächen

1.3 Einteilung der Verfahren der Oberflächentechnik

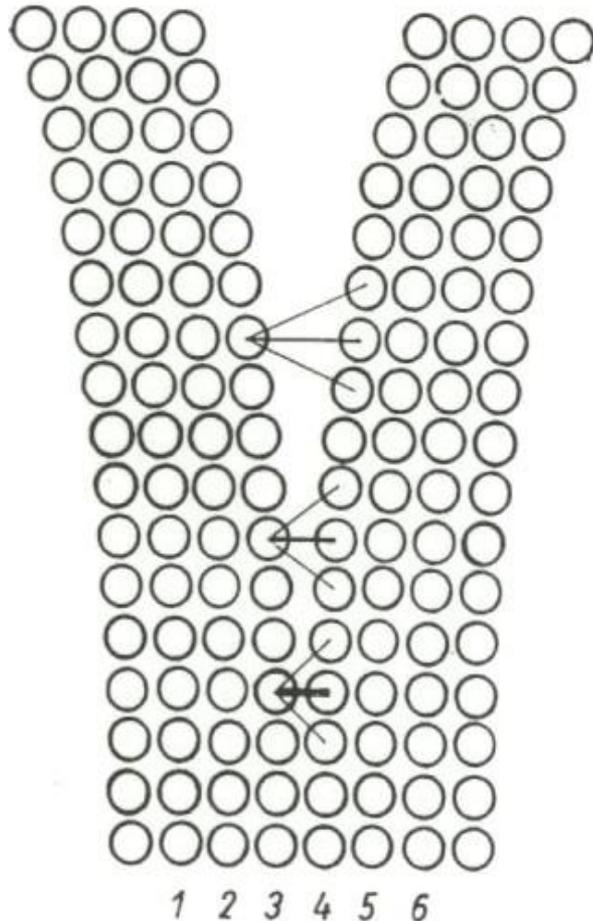
1.4 Anwendungsbeispiele

- **Wie ist die "Oberflächentechnik" definiert?**

Oberflächentechnik ist die maßgeschneiderte Anpassung der Oberflächen oder Randschichten von Bauteilen an ihre Beanspruchung oder Funktion

- **Welche Themen beinhaltet die "Oberflächentechnik"?**

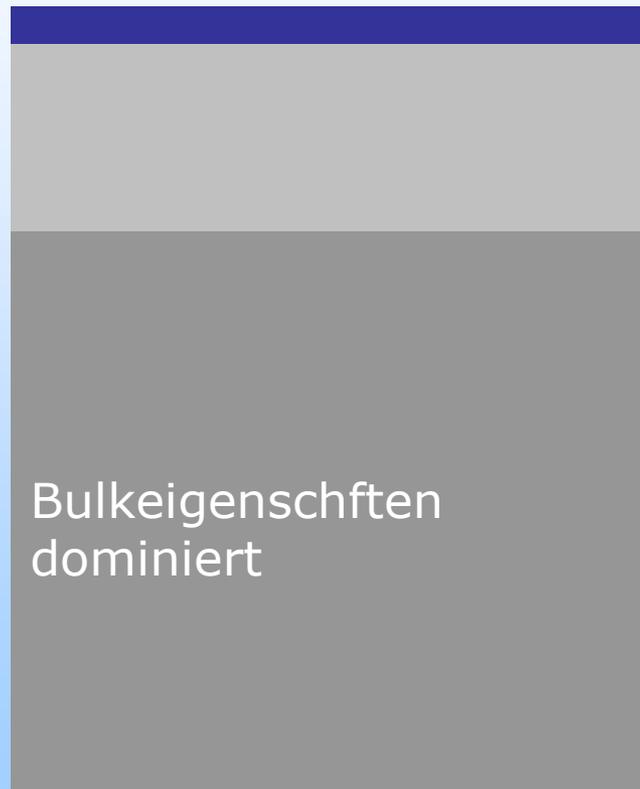
Das Spalten eines Kristalls: Erzeugung neuer Oberfläche



- Brechen der Bindungen
- Rekonstruktion der Oberflächenatomen

Fig. 1.2. Section perpendicular to the line of cleavage AA' in Fig. 1.1

Wiss. Themenbereiche



Å bis nm ► Oberflächenphysik/chemie/Technik

nm bis μm ► Physik/Chemie/Technik dünner
Schichten

Bulkmaterial ► Festkörperphysik/chemie/Technik

Im weitesten Sinne umfasst die Oberflächentechnik alle physikalischen und chemischen Vorgänge, die in oder auf der Oberfläche gewollt ablaufen. Dazu zählen u.a.

- Reibungsvorgänge verschiedener Körper und Medien aufeinander,
- Adhäsions- und Kohäsionsvorgänge,
- Effekte, die mit Ladungsverschiebungen zusammenhängen,
- elektrochemische Vorgänge,
- Diffusionsvorgänge,
- thermische Vorgänge.

Im engeren Sinne zählen zur Oberflächentechnik alle Verfahren, die eine Oberflächenbehandlung oder -beschichtung mit dem Ziel darstellen, die Oberflächeneigenschaften unter funktionellen und/oder dekorativen Gesichtspunkten zu verbessern:

Anforderungen an Bauteileigenschaften

Dekorative Anforderungen	Funktionelle Anforderungen
Farbe Glanz Deckvermögen Rauheit Einebnung	Korrosionsbeständigkeit Verschleißbeständigkeit Gleiteigenschaften Rauheit Härte Festigkeit Leitfähigkeit (therm., elektr.) Dichte

1 Allgemeines

1.1 Definition Oberflächentechnik

1.2 Beanspruchung von technischen Oberflächen

1.3 Einteilung der Verfahren der Oberflächentechnik

1.4 Anwendungsbeispiele

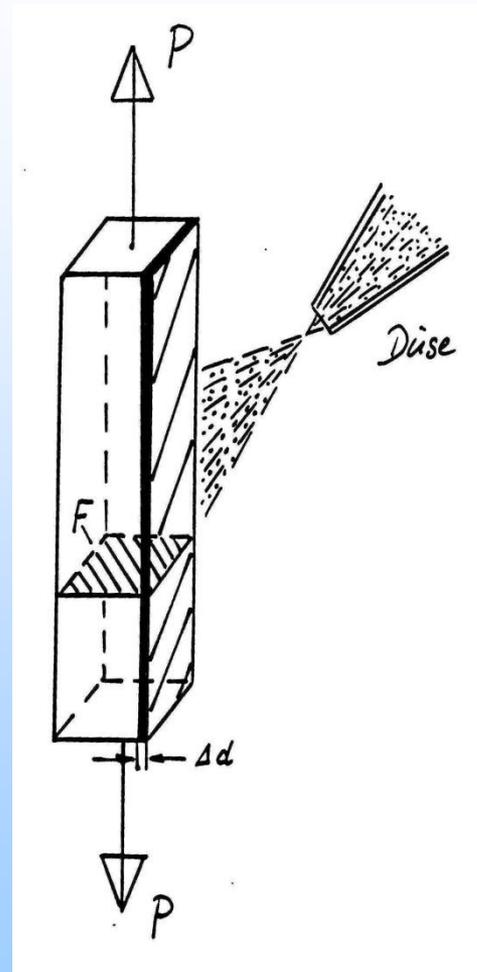
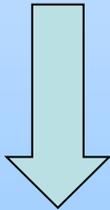
Die technische Oberfläche von Bauteilen, weiterhin kurz als Oberfläche bezeichnet, unterliegt in Abhängigkeit von ihrer Funktion chemischen (biologischen), mechanischen und thermischen Beanspruchungen.

- Korrosion
- Reibung und Verschleiß
- Wechselverformung

Beanspruchung eines Bauteils

Beanspruchung:

1. Volumen
Normalspannung
 $\sigma = P/F$
2. Oberfläche
Gase + Partikel
hoher Temperatur
und E_{Kin}



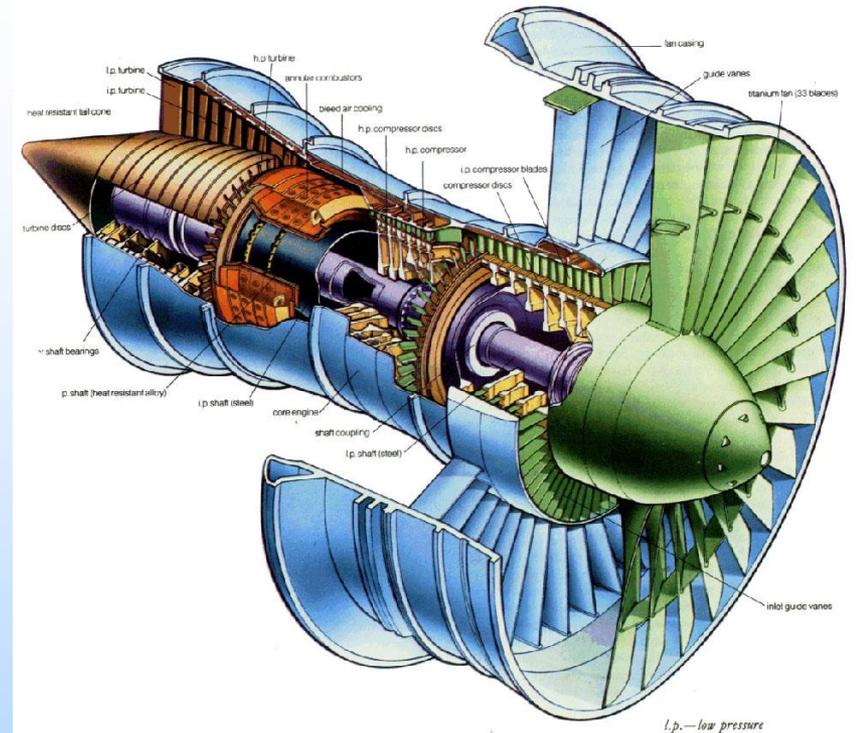
$\text{CO}_2, \text{CO}, \text{H}_2\text{O} +$
Partikel
($E_{\text{Kin}} + \text{Temperatur}$)

Anforderungsprofil oft von einem Werkstoff nicht erfüllbar → Oberflächentechnik

Beispiel: Düsentriebwerk

Beanspruchungen:

- hohe Temperaturen
- Fliehkräfte (Kriechen)
- Reibbeanspruchung
- Überlasten
- Schlagbeanspruchung (Zähigkeit)
- Wechselbeanspruchung (Ermüdung)
- korrosive Umgebung (Hochtemperaturkorrosion)
- starke Temperaturänderungen (Thermoschockbeständigkeit)



Oft ist das Anforderungsprofil so vielfältig, dass es von einem homogenen Werkstoff nicht erfüllt werden kann.

Lösungen können dann gefunden werden durch:

- Oberflächenbehandlung (höhere Verschleiß- und/oder Korrosionsbeständigkeit der Oberfläche)
- Werkstoffverbunde

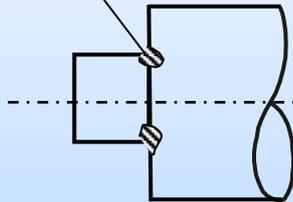
Beispiel: Auslassventil eines PKW-Motors. Schaft aus Vergütungsstahl und Teller aus Hochtemperaturlegierung (verbunden durch Reibschweißen)
+ Oberflächenbehandlung am Tellerrand



Beispiel: Vergrößerung des Übertragungsdrehmoments einer Welle

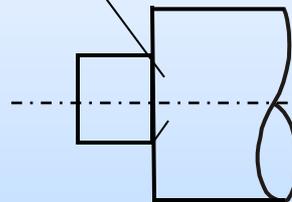
Verwendung eines Werkstoffes mit höherer Festigkeit zur Vermeidung von Veränderungen in der Konstruktion kann aufgrund der höheren Kerbempfindlichkeit zu Rissen und zum Bauteilversagen führen!

Fließen
Des Werkstoffs



a) duktiler Werkstoff

Anrisse



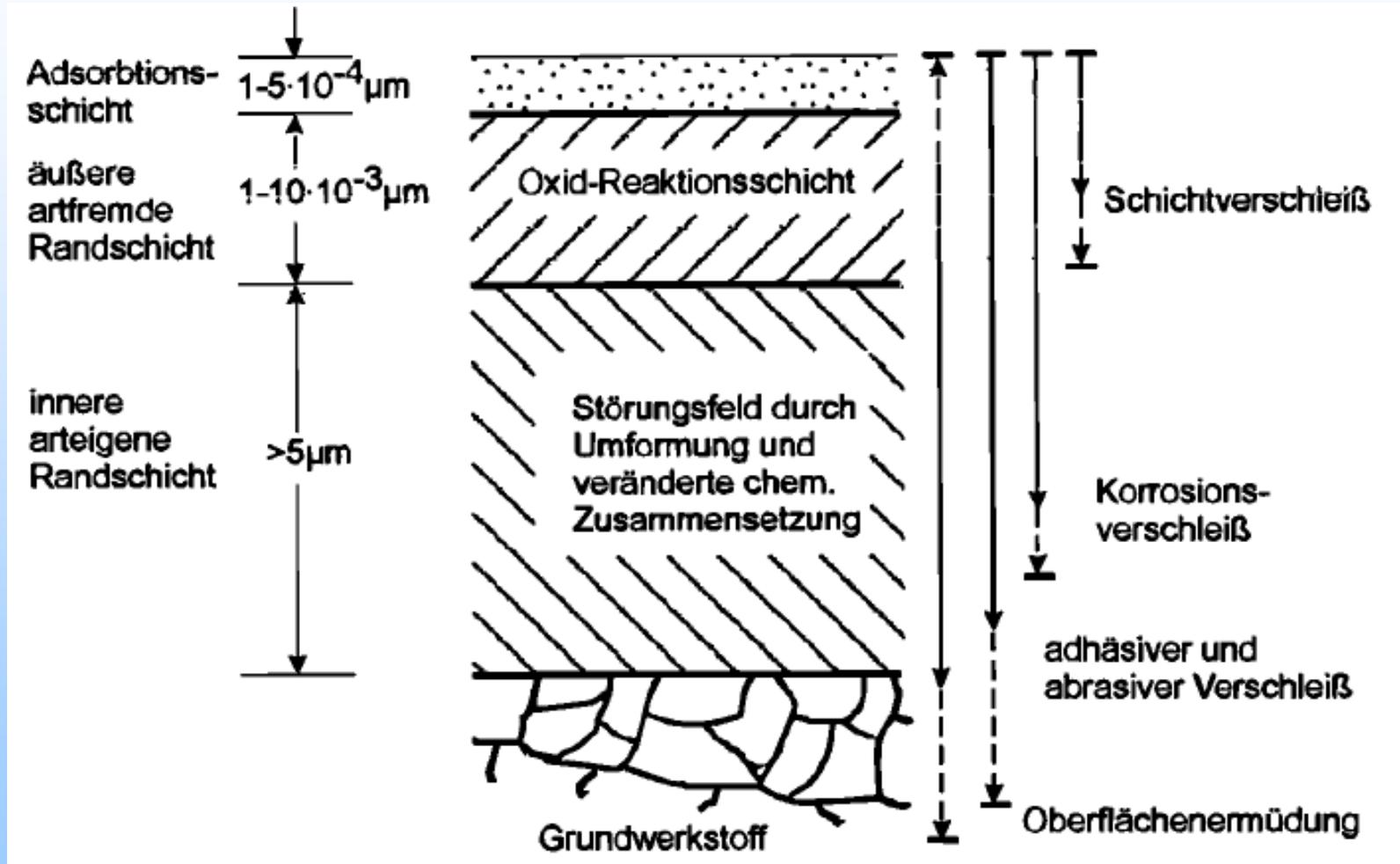
b) hochfester Werkstoff



Beschichtung mit trocken-schmierende Hartstoffschichten

Kurbelwelle für Verbrennungsmotoren:
-Reibungs- und Verschleißreduzierung
→ höhere Beschleunigung

Schichtaufbau metallischer Werkstückoberflächen und Tiefenwirkung verschiedener Verschleißmechanismen



Ausgehend von den Grundmechanismen der Schädigung ergeben sich zur Einschränkung ihrer Wirkung nachstehende Anforderungen an die Eigenschaften von technischen Oberflächen:

zur Vermeidung von Abrasion:

hohe Härte bei ausreichender Zähigkeit, harte Phasen in einer sich verfestigenden zähen Matrix

zur Vermeidung von Adhäsion:

artfremde Randschicht (Vermeidung von metallischen Paarungen), geringe adhäsive Bindungskräfte (keine kubisch flächenzentrierten Metalle), geringe Deformationsneigung, Werkstoffe mit heterogenem Aufbau

zur Vermeidung von Kontaktermüdung:

hohe Festigkeit bei möglichst hoher Zähigkeit, Vermeidung von gefügebedingten Spannungskonzentrationen, d.h. hohe Homogenität, Druckeigenspannungen im Randbereich

zur Vermeidung der Tribooxydation:

tribochemische Reaktionen können verschleißmindernd wirken, sie sind in diesem Fall erwünscht; Vermeidung durch reaktionsbeständige Schutzschichten, z.B. Oxidschichten

zur Vermeidung von Volumenermüdung:

hohe Festigkeit bei möglichst hoher Zähigkeit, hohe Gefügehomoogenität, Druckeigenspannungen in der Oberflächenschicht

zur Vermeidung von thermischer Ermüdung:

hohe Warmfestigkeit, Verringerung der Beanspruchung durch Wärmedämmschichten

Folglich können die Anforderungen an den stofflichen und strukturellen Aufbau sowie die Dicke von Randschichten zu nachfolgenden Gruppen zusammengefasst werden:

- (A)** dünne artfremde Schichten hoher Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit,
- (B)** dicke artfremde Schichten hoher Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit sowie Wärmedämmung
- (C)** dicke arteigene, verfestigte Randschichten hoher Ermüdungsbeständigkeit

Diesen Gruppen können Behandlungs- bzw. Beschichtungsverfahren zugeordnet werden. Jedoch jede pauschale Zusammenstellung beinhaltet starke Vereinfachungen und die Reduzierung komplexer Wechselwirkungen auf Grundzusammenhänge. Sie ermöglicht aber Groborientierungen für die Auswahl beanspruchungsgerechter Schichten.

1 Allgemeines

1.1 Definition Oberflächentechnik

1.2 Beanspruchung von technischen Oberflächen

1.3 Einteilung der Verfahren der Oberflächentechnik

1.4 Anwendungsbeispiele

In der Praxis werden Oberflächentechnologien meist nach werkstofftechnischen, fertigungstechnischen oder verfahrens- und anlagentechnischen Gesichtspunkten unterschieden. In vereinfachter Form lässt sich die Oberflächentechnik in zwei Hauptgruppen unterteilen. Es sind dies die

- Oberflächenbehandlung

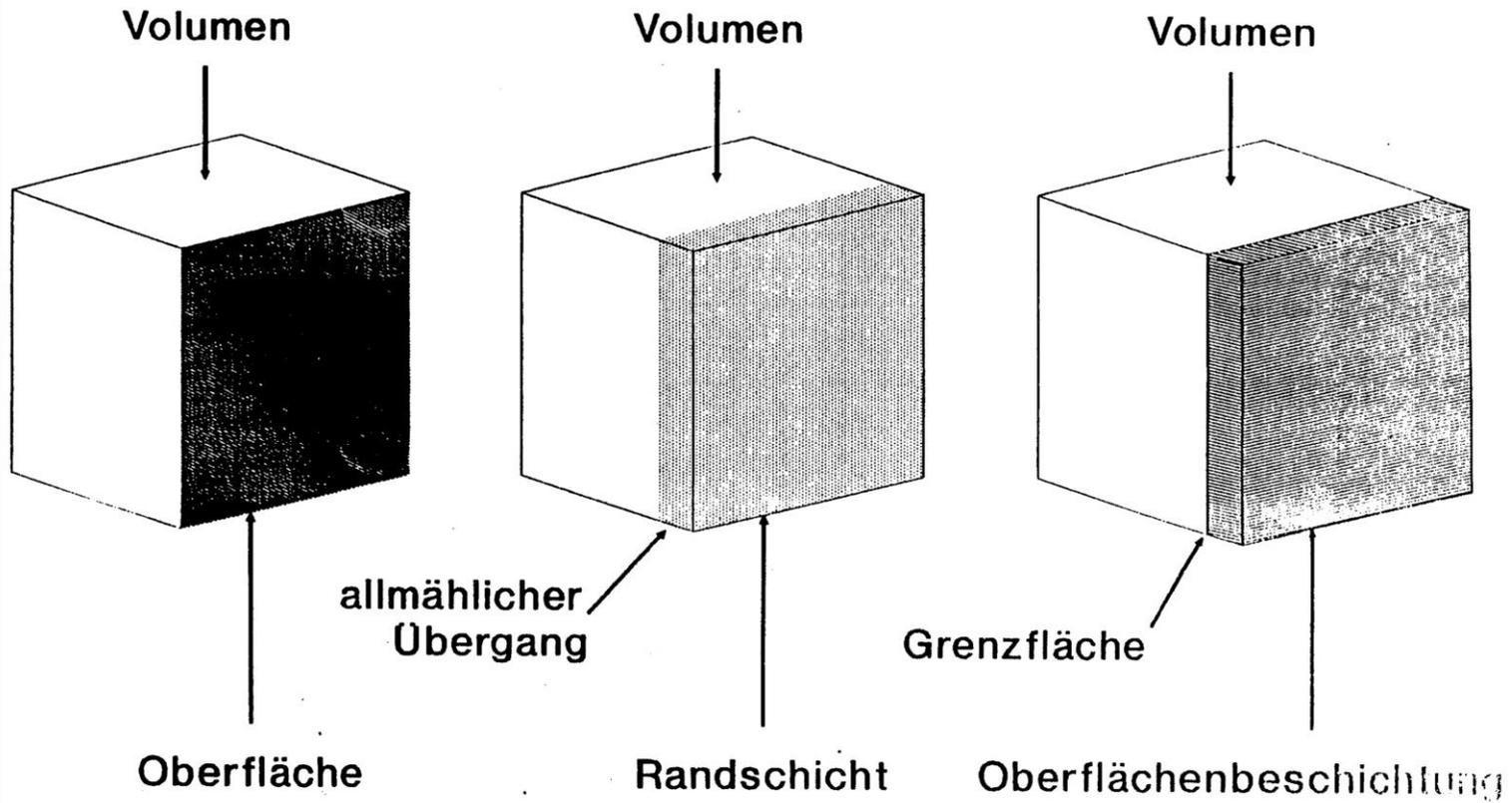
Verfahren zur Beeinflussung der Werkstück-Randschicht

- Oberflächenbeschichtung

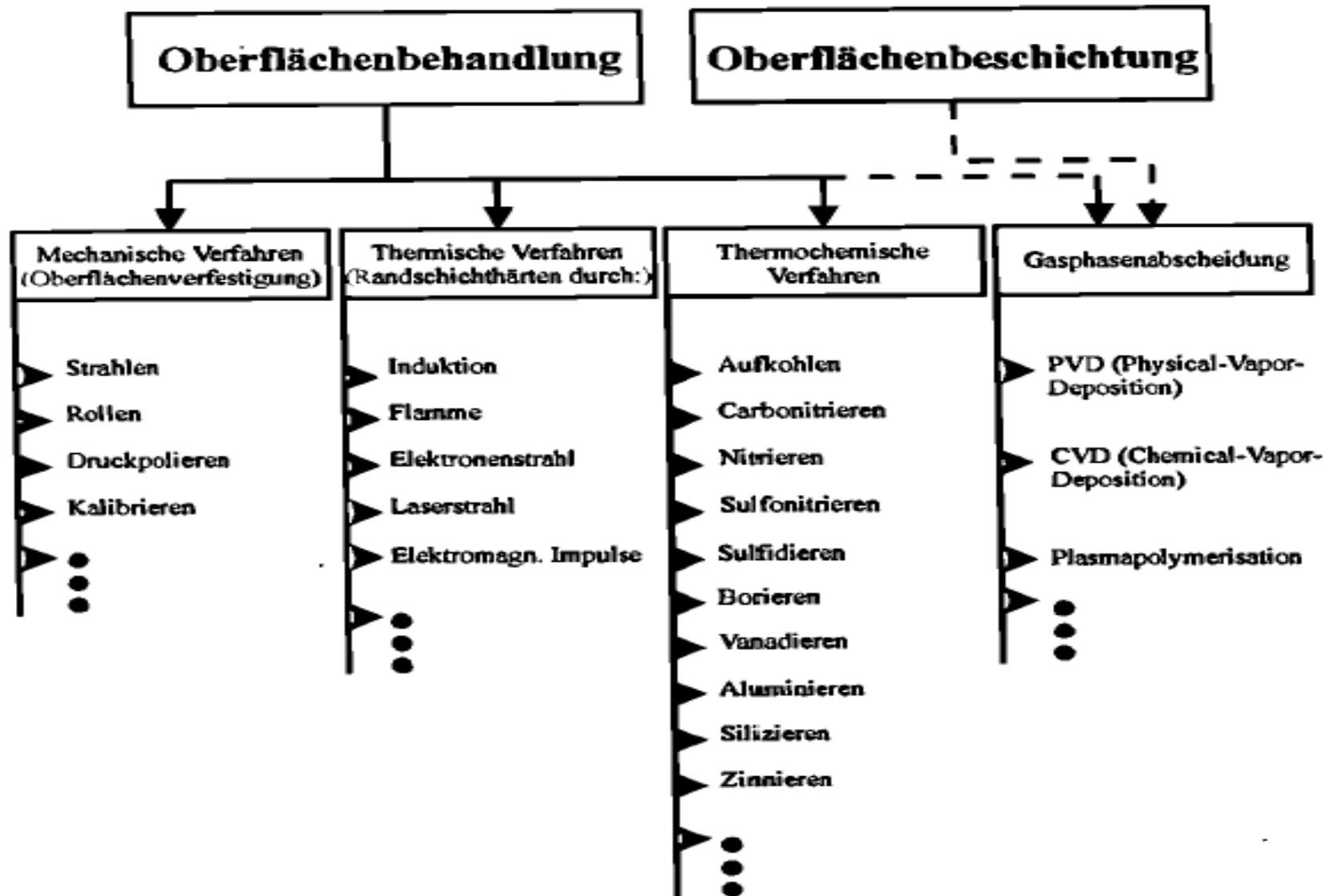
Verfahren zum Aufbringen von Überzügen auf Werkstücke

In den Übergangsbereich zwischen beiden Hauptgruppen müssen die neuen physikalischen und chemischen Verfahren, wie **Ionenplattieren**, physikalische Abscheidung aus der Gasphase (Physical Vapour Deposition - **PVD**), chemische Abscheidung aus der Gasphase (Chemical Vapour Deposition - **CVD**) und Plasmapolymersation eingeordnet werden.

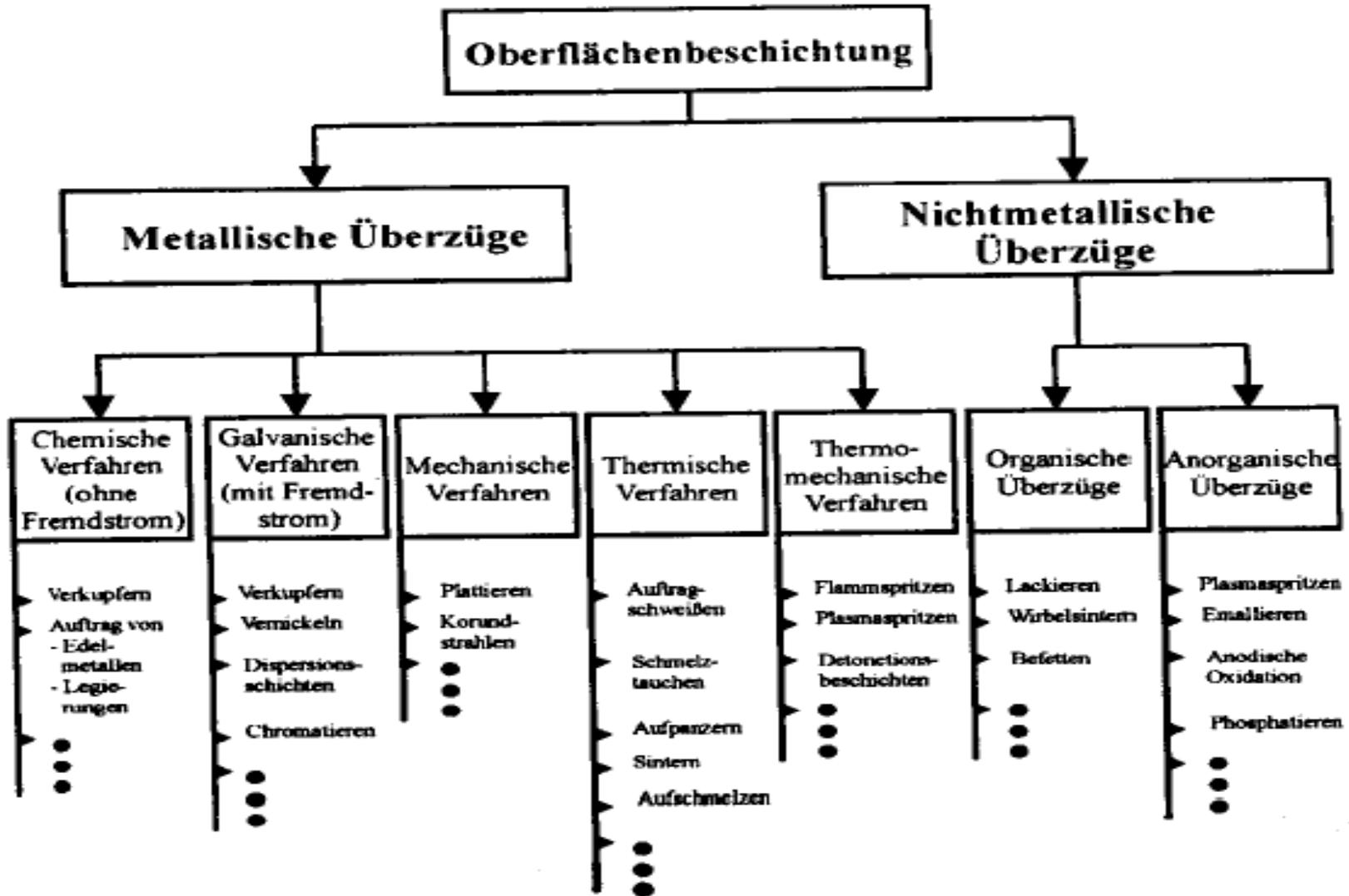
Oberflächenbehandlungen



Oberflächenbehandlungsverfahren



Oberflächenbeschichtungsverfahren



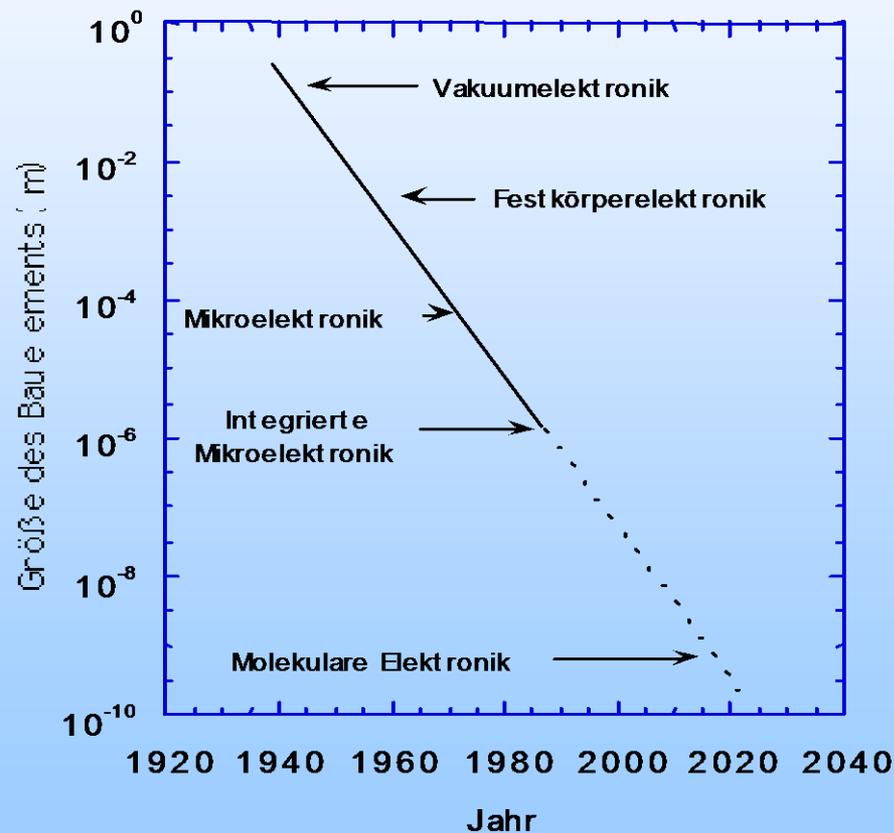
1 Allgemeines

1.1 Definition Oberflächentechnik

1.2 Beanspruchung von technischen Oberflächen

1.3 Einteilung der Verfahren der Oberflächentechnik

1.4 Anwendungsbeispiele



Application areas of thin films and surface engineering

● Electronics

- Flexible Polymer Light Emitting Displays

● Optical coatings

- Anti-reflex films for lens systems und umbrella glass

● Supra-conductive films

- SQUIDS

● Magnetic films

- Storage & reading

● Environment & energy technique

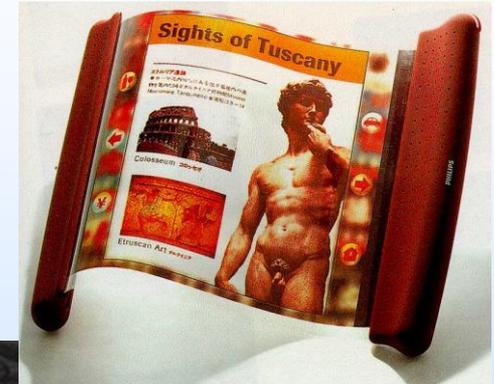
- low E window glass coating

● Heat prevention & corrosion resistance

- Turbine blade coating

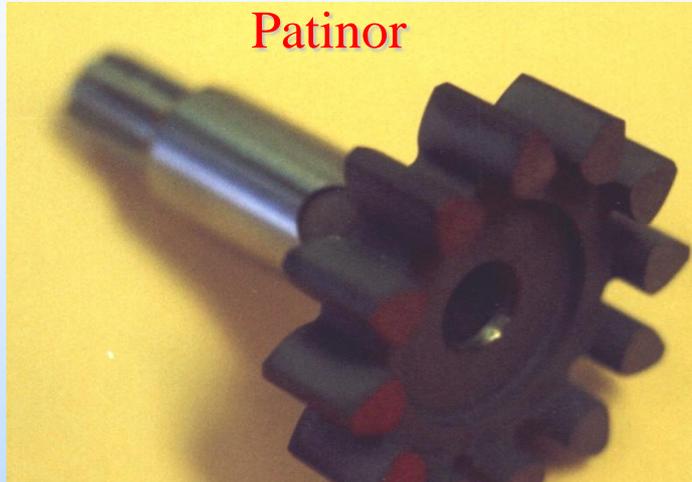
● Super hard coatings

- Wear resistance of machine parts and tools

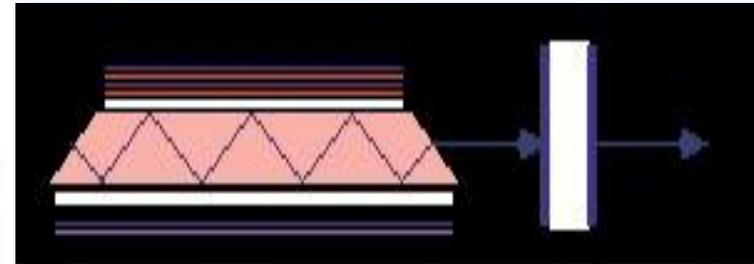


Thin Film Applications

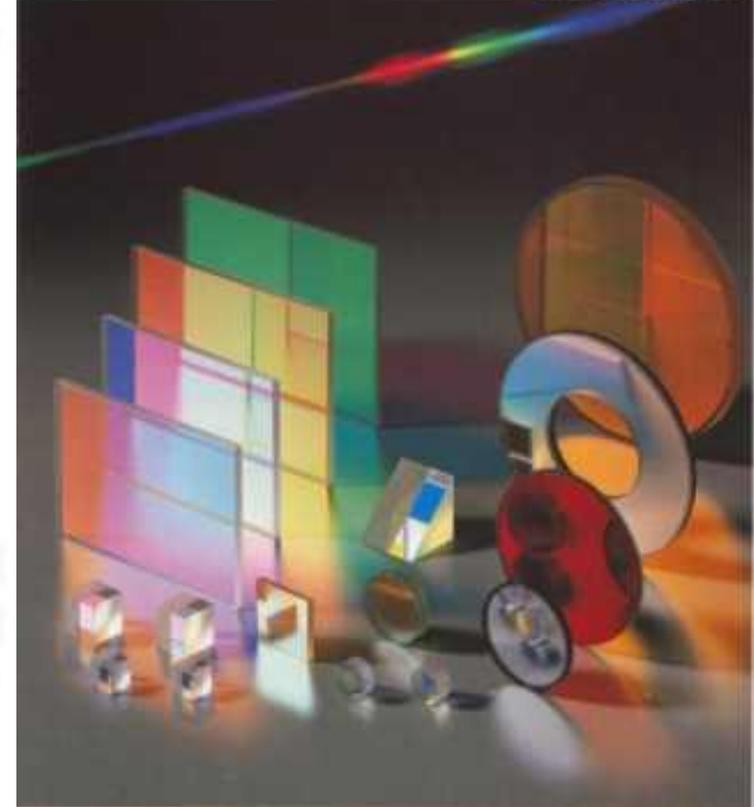
Variety of coatings DLC / TiC / TiN, graphitic i-C, TiAlN, MoST, etc



WINDOW



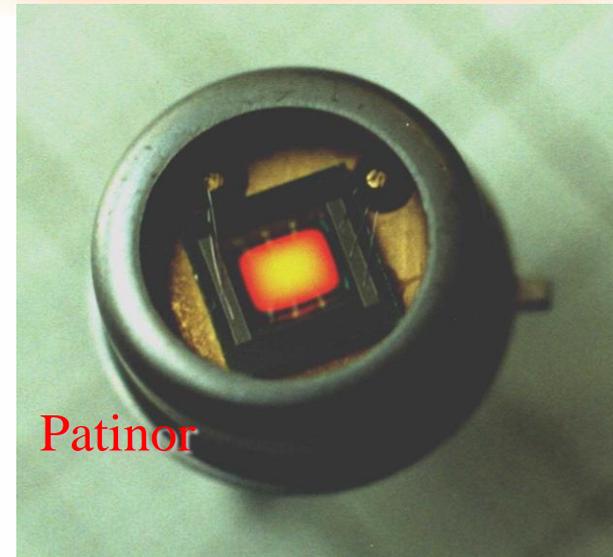
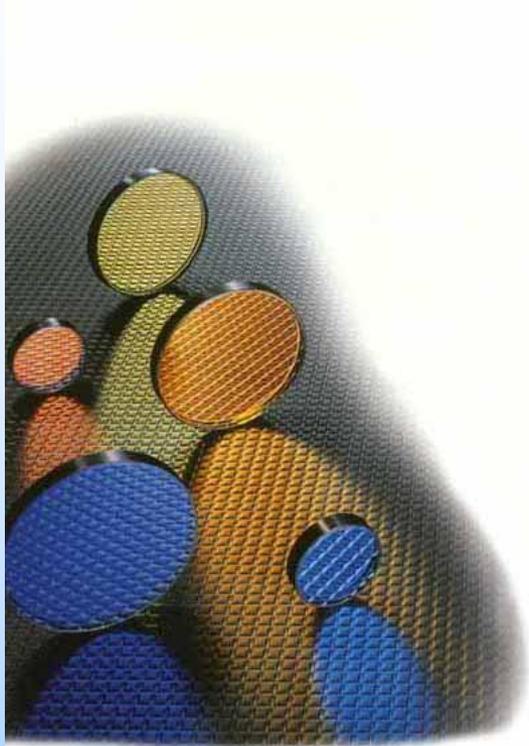
Prism



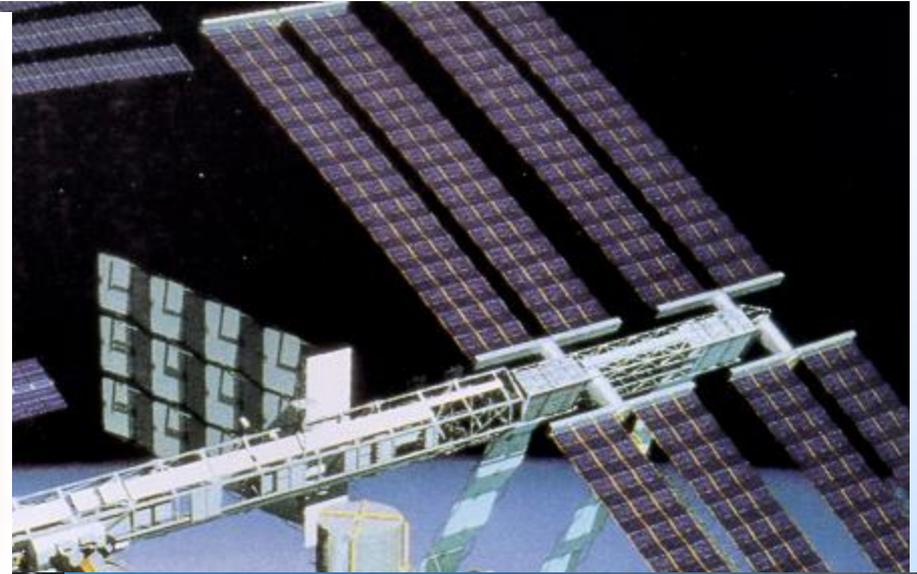
Thin Film Applications



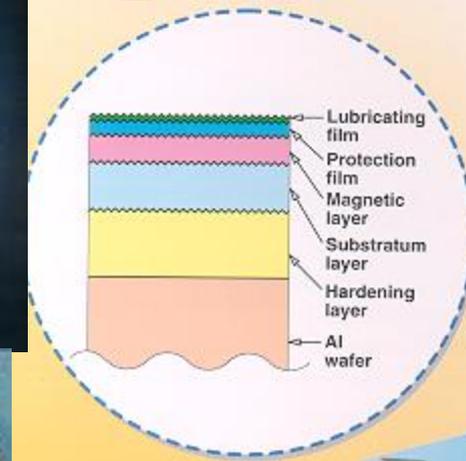
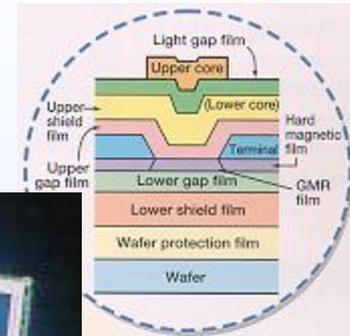
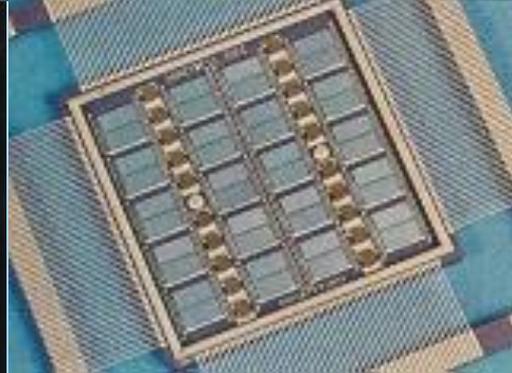
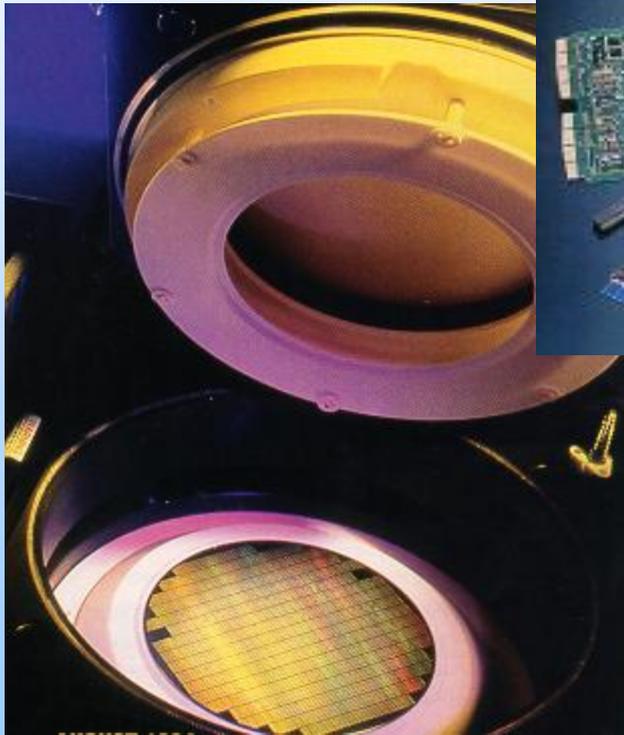
Thin Film Applications



Thin Film Applications



Thin Film Applications

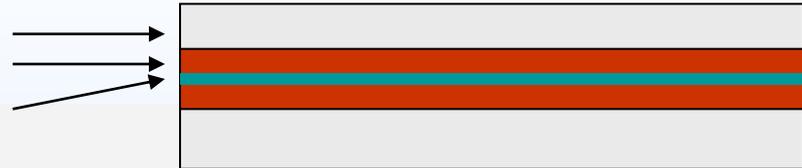


Werkzeuge beschichtet mit a-C:H-Schichten



Schichten für die Energietechnik

Glas
Oxid-Blockschichten
Ag-Schichten

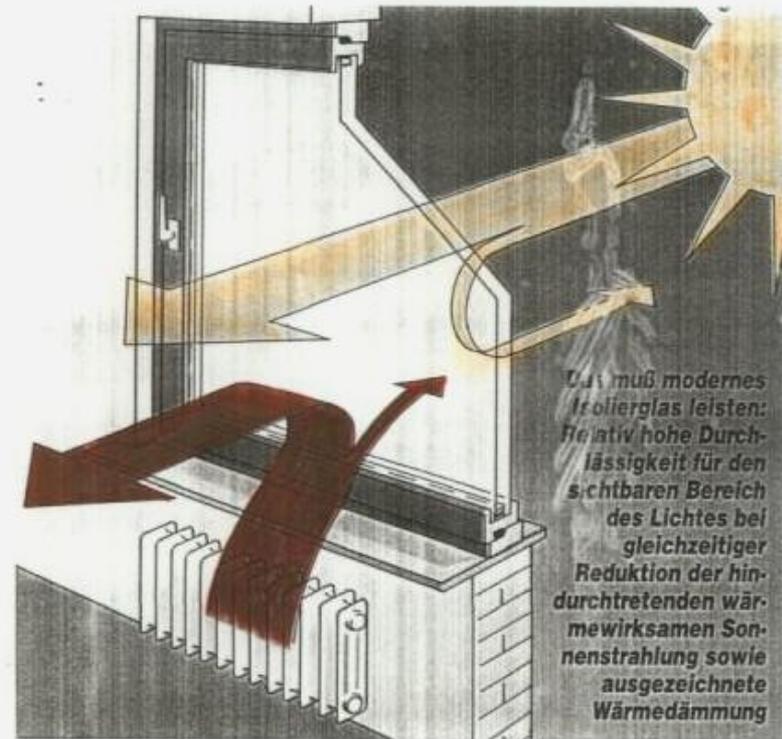


HAUS-TECHNIK

Gute Isoliereigenschaften bei modernen Fenstern

Neben einem guten Einbruch- und Hagelschutz müssen moderne Fenster heute vor allem gute Dämmeigenschaften haben. Der Hamburger Spezialhersteller von Dachflächenfenstern Velux hat jetzt diese Eigenschaften entscheidend verbessert: Mit einem Wärmedämmwert (k-Wert) von 1,4 W/qmk entsprechen die Fenster jetzt den Anforderungen für Niedrigenergie-Häuser. Ein Hitzeschutzwert (g-Wert) von 44 Prozent sorgt im Sommer dafür, daß die Hitze draußen bleibt. Mit einem verbesserten Schallschutzwert (Rw-Wert) von 37 dB entsprechen die Fenster der Schallschutzklasse 3. Der große europäische Isolierglashersteller Isoluar Glas formu-

liert die Anforderungen an moderne Verglasung folgendermaßen: „Relativ hohe Durchlässigkeit für den sichtbaren Bereich des Lichtes bei gleichzeitiger Reduktion der hindurchtretenden wärmewirksamen Sonnenstrahlung sowie ausgezeichnete Wärmedämmung“. Noch einen Schritt weiter geht das Forschungsvorhaben Övolution, bei dem die Sonnenwärme bewußt in das Heizungskonzept mit einbezogen wird: Die Vereinigten Glaswerke Vegla liefern hier eine Fensterverglasung mit einem k-Wert von 1,2 W/qmk beim „Övolution-Haus“ und mit einem k-Wert von 0,8 W/qmk beim Haus „ÖvolutionPlus“.



Das muß modernes Isolierglas leisten: Relativ hohe Durchlässigkeit für den sichtbaren Bereich des Lichtes bei gleichzeitiger Reduktion der hindurchtretenden wärmewirksamen Sonnenstrahlung sowie ausgezeichnete Wärmedämmung

Research

- **Fundamental**

- **Development of new materials**
- **Material Behavior**

- **Applied**

- **Development of new products devices and systems**
- **Enhancement of the product performance**
- **Increase of product value including aesthetic value**

Schicht- und Oberflächentechnik in der Forschung

VOLUME 45, NUMBER 6 PHYSICAL REVIEW LETTERS 11 AUGUST 1980

New Method for High-Accuracy Determination of the Fine-Structure Constant Based on Quantized Hall Resistance

K. v. Klitzing
*Physikalisches Institut der Universität Würzburg, D-8700 Würzburg, Federal Republic of Germany, and
Hochfeld-Magnettlabor des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung, F-38042 Grenoble, France*

and

G. Dorda
Forschungslaboratorien der Siemens AG, D-8000 München, Federal Republic of Germany

and

M. Pepper
*Cavendish Laboratory, Cambridge CB3 0HE, United Kingdom
(Received 30 May 1980)*

Measurements of the Hall voltage of a two-dimensional electron gas, realized with a silicon metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, show that the Hall resistance at particular, experimentally well-defined surface carrier concentrations has fixed values which depend only on the fine-structure constant and speed of light, and is insensitive to the geometry of the device. Preliminary data are reported.

PACS numbers: 73.25.+i, 06.20.Jr, 72.20.My, 73.40.Qv

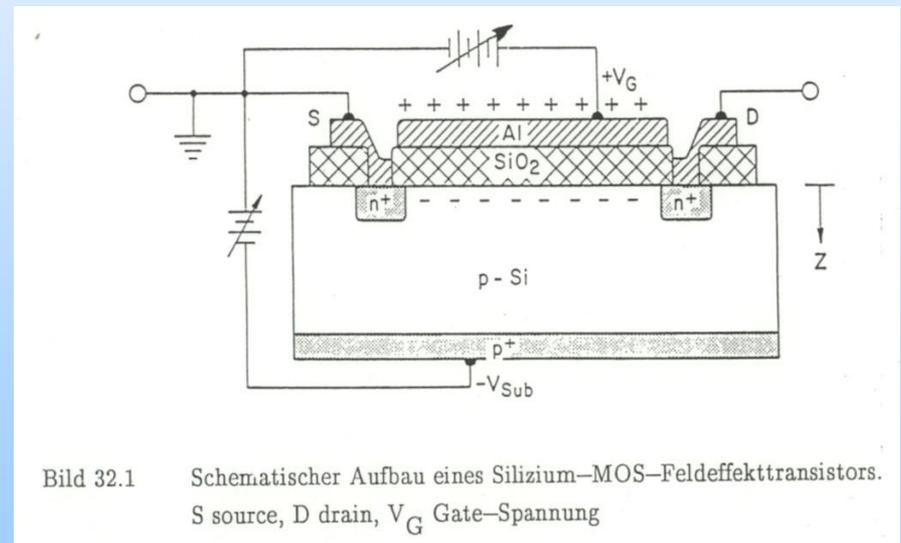
In this paper we report a new, potentially high-accuracy method for determining the fine-structure constant, α . The new approach is based on the fact that the degenerate electron gas in the inversion layer of a MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) is fully quantized when the transistor is operated at helium temperatures and in a strong magnetic field of order 15 T .¹ The inset in Fig. 1 shows a schematic diagram of a typical MOSFET device used in this work. The electric field perpendicular to the surface (gate field) produces subbands for the motion normal to the semiconductor-oxide interface, and the magnetic field produces Landau quantization of motion parallel to the interface. The density of states $D(E)$ consists of broadened δ functions²; minimal overlap is achieved if the magnetic field is sufficiently high. The number of states, N_L , within each Landau level is given by

$$N_L = eB/h, \quad (1)$$

where we exclude the spin and valley degeneracies. If the density of states at the Fermi energy, $N(E_F)$, is zero, an inversion layer carrier cannot be scattered, and the center of the cyclotron orbit drifts in the direction perpendicular to the electric and magnetic field. If $N(E_F)$ is finite but small, an arbitrarily small rate of scattering cannot occur and localization produced by the long lifetime is the same as a zero scattering rate, i.e., the same absence of current-carrying states occurs.² Thus, when the Fermi level is between

FIG. 1. Recordings of the Hall voltage U_H , and the voltage drop between the potential probes, U_{PP} , as a function of the gate voltage V_G , at $T = 1.5 \text{ K}$. The constant magnetic field (B) is 18 T and the source drain current, I , is $1 \mu\text{A}$. The inset shows a top view of the device with a length of $L = 400 \mu\text{m}$, a width of $W = 50 \mu\text{m}$, and a distance between the potential probes of $L_{PP} = 130 \mu\text{m}$.

Quanten Hall-Effekt



Banddiskontinuität der Halbleitern

