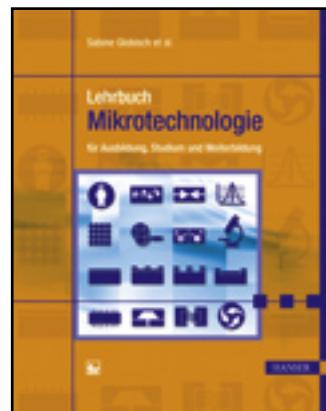


# HANSER



Leseprobe

Lehrbuch Mikrotechnologie

für Ausbildung, Studium und Weiterbildung

Herausgegeben von Sabine Globisch

ISBN: 978-3-446-42560-6

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42560-6>

sowie im Buchhandel.

## 10.2 Beschichtungsverfahren aus der Gasphase

Neben den thermischen Oxidschichten wird eine Vielzahl weiterer dünner Schichten auf Wafern und anderen Substraten erzeugt. Die Schichtabscheidung erfolgt dabei meist im Vakuum. Generell wird zwischen Verfahren der physikalischen und chemischen Gasphasenabscheidung unterschieden. Bei der physikalischen Gasphasenabscheidung wird das Ausgangsmaterial verdampft oder zerstäubt und setzt sich auf der Oberfläche ab, bei der chemischen Gasphasenabscheidung erfolgt eine chemische Reaktion, typischerweise an der Substratoberfläche.

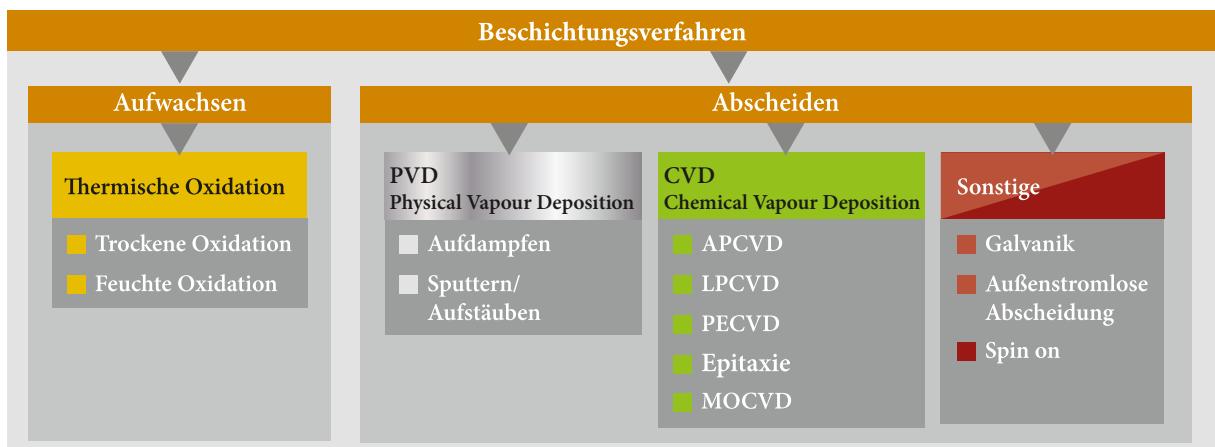


Abbildung 10.11 Beschichtungsverfahren Überblick

### 10.2.1 Physikalische Gasphasenabscheidung

Die Prozesse der physikalischen Gasphasenabscheidung (Physical Vapour Deposition, PVD) umfassen unter anderem die Verfahren Aufdampfen und Kathodenerstäuben (Sputtern). Die besonderen Vorteile der PVD-Verfahren liegen in einer nahezu uneingeschränkten Auswahl an realisierbaren Schichtmaterialien. Das Ausgangsmaterial liegt hierbei typischerweise als Festkörper (Platte – Target, Pulver) vor.

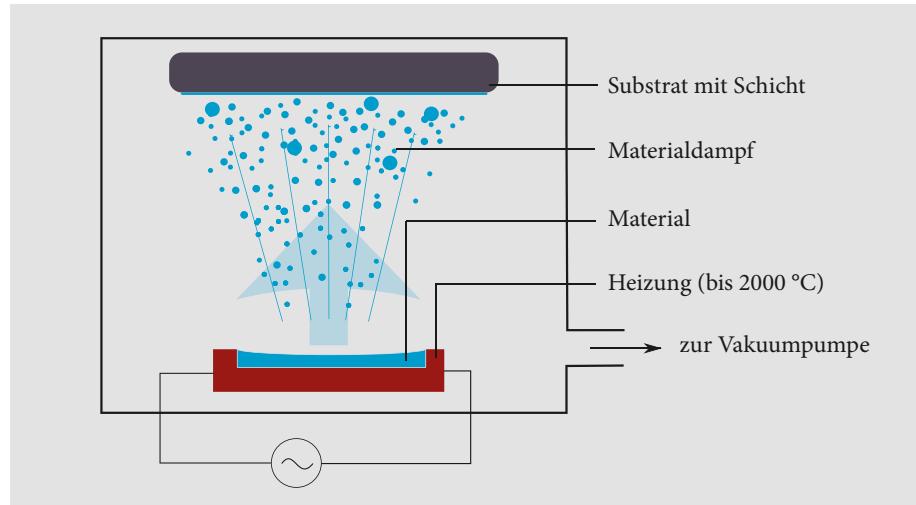
Der PVD-Prozess lässt sich generell in drei Schritte unterteilen:

1. Erzeugung der Gasphase des schichtbildenden Materials, durch Verdampfen oder Sputtern (Zerstäuben)
2. Transport von der Quelle zum Substrat
3. Schichtwachstum auf dem Substrat

#### Verdampfen

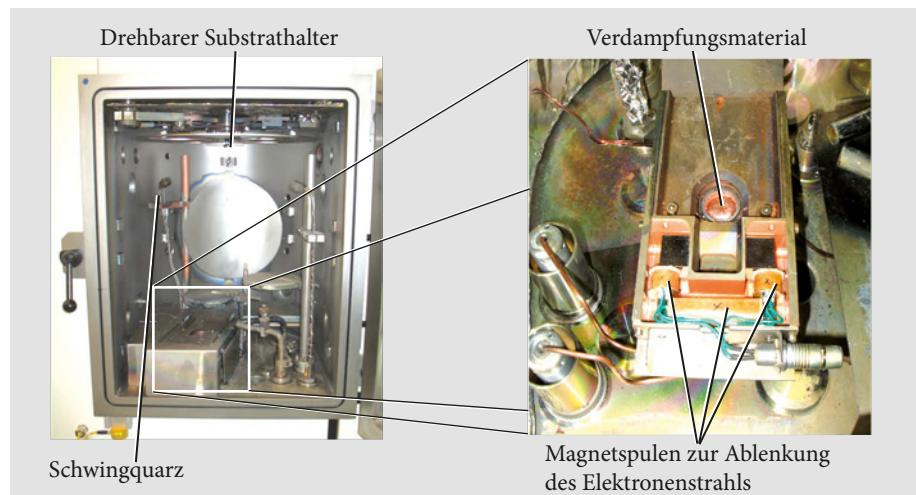
Beim Verdampfen wird das Beschichtungsmaterial in einem Tiegel so stark erhitzt, dass es verdampft und sich auf dem Substrat als Schicht abscheidet. Dieses Verfahren setzt Hochvakuum oder sogar Ultrahochvakuum voraus. Je besser das Vakuum, desto geringer ist die Anwesenheit von Fremdstoffen. Im Ultrahochvakuum (UHV) ist daher der Einbau von Fremdatomen deutlich reduziert. Allerdings ist die Erzeugung und Bereitstellung aufwendiger und teurer.

Beim Verdampfen wird das zu verdampfende Material in einer Vakuumkammer (Druck kleiner 0,1 Pa) in einem Tiegel auf Temperaturen nahe seinem Siedepunkt erhitzt. Die Tiegel bestehen meist aus hochschmelzenden Metallen oder Keramiken (W, Mo, Ta, BN) oder aus Graphit. Das verdampfte Material verlässt die Oberfläche und schlägt sich auf allen Oberflächen, die sich in Sichtlinie zum Verdampfungsschiffchen befinden, nieder. *Abbildung 10.12* zeigt eine schematische Darstellung des thermischen Verdampfens.



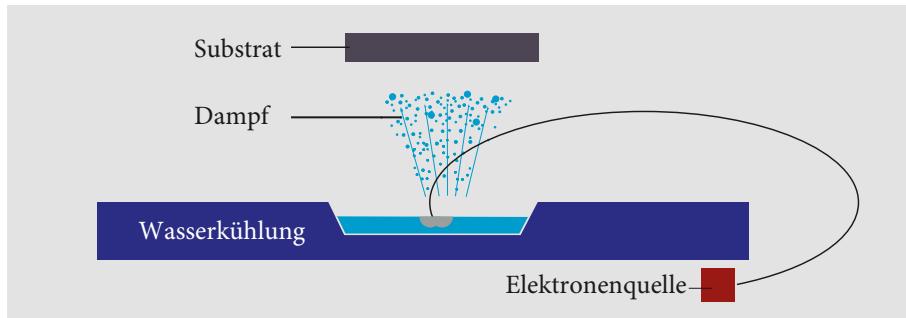
**Abbildung 10.12**  
Schematische Darstellung  
des thermischen  
Verdampfers

Alternativ kann das Material auch durch Beschuss mit einem Elektronenstrahl oder Laserstrahl verdampft werden. *Abbildung 10.13* zeigt einen Elektronenstrahlverdampfer. Die hochenergetische Strahlung gibt die Energie an das zu verdampfende Material ab und erwärmt dieses. Der wesentliche Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Erwärmung auf der Oberfläche des zu verdampfenden Materials erfolgt, während der Tiegel



### Abbildung 10.13 Verdampfungsanlage des impt Hannover

selbst mit Wasser gekühlt werden kann. Des Weiteren kann die eingekoppelte Leistung und somit die Aufdampfrate im Gegensatz zum thermischen Verdampfen exakt geregelt werden. *Abbildung 10.14* zeigt den schematischen Aufbau einer Elektronenstrahl-Aufdampfanlage. Die Elektronen werden mittels eines Heizdrahtes emittiert und durch eine Anode beschleunigt. Um die Elektronen in das Aufdampfgut zu lenken, wird senkrecht zur Zeichenebene ein Magnetfeld erzeugt. Dieses Magnetfeld zwingt die Elektronen aufgrund der Lorentzkraft auf eine Kreisbahn. Die auf das Aufdampfgut auftreffenden Elektronen schmelzen dieses und es kommt zum Aufdampfprozess.



**Abbildung 10.14**  
Schematische Darstellung  
des Elektronenstrahlver-  
dampfens

Beim Bogen- oder Arc-Verdampfen wird das zu verdampfende Material auf ein positives Potenzial gelegt und zwischen der Kammer und dem Target ein Lichtbogen gezündet, der das schichtbildende Material schmilzt und verdampft. Dabei wird ein großer Teil des verdampften Materials ionisiert. Am Substrat kann zusätzlich eine negative Spannung (eine sogenannte Biasspannung) angelegt werden. Dadurch werden die Ionen auf das Substrat fokussiert. Ferner kann hierdurch dem verdampften Material eine hohe kinetische Energie übertragen werden, sodass das resultierende Schichtwachstum nachhaltig beeinflusst wird.

Beim Verdampfen wird das Beschichtungsmaterial durch Erhitzen in die Gasphase überführt.

## Kathodenerstäuben/Sputtern

Beim Kathodenerstäuben, dem sogenannten Sputtern, liegt das schichtbildende Material in Form eines Festkörpers als Target vor. Dieses wird durch Beschuss mit Ionen (meist Argon) aus einem Plasma (siehe *Exkurs Plasma am Ende des Kapitels*) zerstäubt, sodass sich die ausgeschlagenen Atome und Ionen als Schicht abscheiden können. Das Plasma wird typischerweise durch eine Gleichspannung mehrerer hundert Volt (DC-) oder hochfrequente Wechselspannung (HF- bzw. RF-Sputtern) erzeugt. Beim DC-Sputtern können ausschließlich leitfähige Targets verwendet werden, während beim HF-Sputtern darüber hinaus auch isolierende Targetmaterialien eingesetzt werden können. Für die Schichtherstellung wird die Vakuumkammer, der sogenannte Rezipient, evakuiert, d. h. üblicherweise auf einen Druck kleiner  $1 \cdot 10^{-4}$  Pa gebracht. Anschließend wird ein Prozessgas, üblicherweise Argon, eingelassen (Druckbereich von 0,1 Pa bis 10 Pa) und an die Elektroden, speziell an das Target, als Kathode eine Spannung angelegt. Dadurch wird im Rezipienten ein Plasma gezündet und positive

Abschnitt 12.5.1

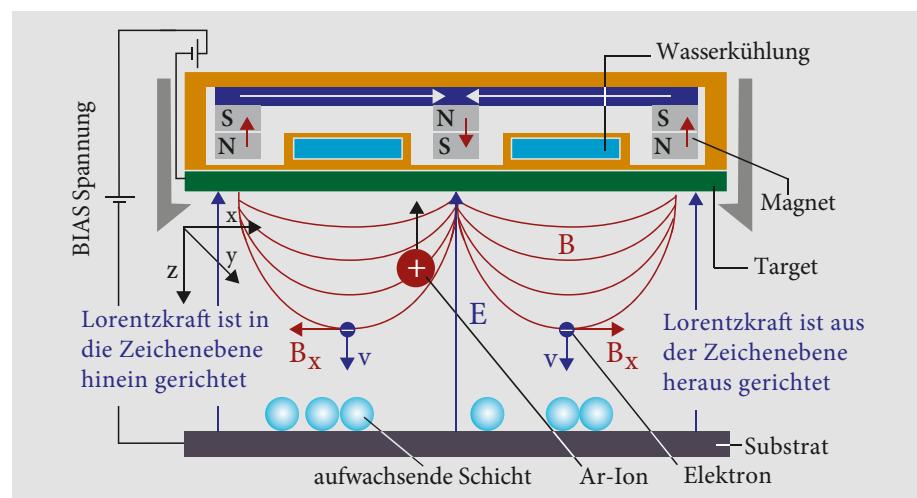
Exkurs Plasma



**Abbildung 10.15**  
Photo einer Inline-Sputteranlage

**Abbildung 10.16**  
Schematischer Aufbau einer DC-Magnetron-Sputter-Anlage

**Tabelle 10.4**  
Prozessparameter zum Sputtern



Parameter	Wert
Gasfluss	Ar: 10 – 10.000 sccm
Arbeitsdruck	0,1 – 10 Pa
Leistung am Target	Einige 100 W bis einige 10 kW (abhängig von der Targetfläche)

Um die Sputterausbeute zu erhöhen, wird heutzutage eine sogenannte Magnetron-Anordnung benutzt. Hierbei befinden sich hinter dem Target Magnete, die ein zusätzliches Magnetfeld senkrecht zum Feld zwischen Kathode und Anode erzeugen. In Folge der Lorentzkraft werden erzeugte Sekundärelektronen auf Kreisbahnen vor der Targetoberfläche gelenkt, sodass sich die Verweilzeit vor dem Target erhöht und somit eine verstärkte Ionisation des Plasmagases direkt vor dem Target stattfindet. Das erhöhte Angebot an Ionen führt schließlich zu einem verstärkten Materialabtrag an der Targetoberfläche.

Des Weiteren ist es möglich, durch Zugabe von Reaktivgasen wie Sauerstoff oder Stickstoff auch Oxide oder Nitride herzustellen. Im Beispiel des CMOS (siehe Abbildung 10.1) wird Titan gesputtert und zusätzlich Stickstoff ( $N_2$ ) als Reaktivgas während des Sputterns eingelassen. Dadurch entsteht eine Titannitridschicht, welche im CMOS als Diffusionsbarriere dient.

Durch das Anlegen einer Spannung am Substrat, der sogenannten Biasspannung, kann ein zusätzlicher Ionenbeschuss der aufwachsenden Schicht bewirkt werden, der zu einer Veränderung der Schichteigenschaften führen kann. Mithilfe der Biasspannung können Eigenschaften wie Schichtspannung, Vernetzungsgrad, Härte oder Topographie innerhalb bestimmter Grenzen eingestellt bzw. variiert werden.

Beim Sputtern wird das Beschichtungsmaterial durch Beschuss einer Oberfläche mit Ionen in die Gasphase gebracht.

## 10.2.2 Chemische Gasphasenabscheidung

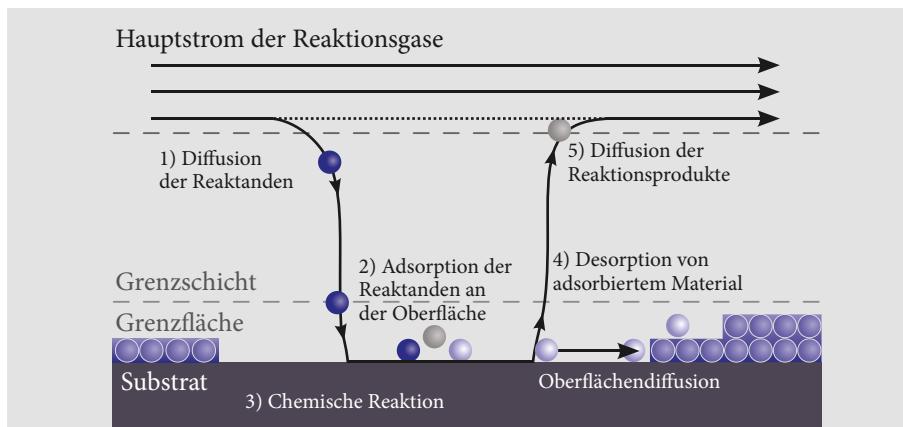
Bei der chemischen Gasphasenabscheidung (Chemical Vapour Deposition, CVD) wird das schichtbildende Material mithilfe eines sogenannten Precursors (Trägergas) in das Reaktionsgefäß, den Rezipienten, eingeleitet (Reagenz 1 und 2) und bildet nach einer chemischen Reaktion eine Schicht auf dem Substrat aus. Die gasförmigen Reststoffe (Reaktionsprodukte) werden über das Pumpsystem abgeführt (siehe Abbildung 10.17). Voraussetzung für die Schichtherstellung mittels CVD ist die Verfügbarkeit flüchtiger Verbindungen aus schichtbildenden Komponenten.

Die entscheidenden Faktoren für alle CVD-Prozesse sind:

- der Gasfluss, d. h. die Menge der Reaktivkomponenten, die zur Schichtbildung zur Verfügung stehen;
- die Reaktionsraten der chemischen Reaktion zur Filmbildung an der Oberfläche;
- der Abtransport der Reaktionsprodukte nach der Schichtbildung.

Die chemischen Reaktionen können sowohl thermisch als auch durch Ionenbeschuss der Oberfläche aktiviert werden. Je nach Art der Aktivierung spricht man von thermischer oder plasmaaktivierter CVD.

Bei der chemischen Gasphasenabscheidung bildet sich das Beschichtungsmaterial durch chemische Reaktion in der Gasphase im Rezipienten.



**Abbildung 10.17**  
Prinzip der chemischen Gasphasenabscheidung

## Thermisch aktivierte Gasphasenabscheidung

Bei der thermisch aktivierten Gasphasenabscheidung wird die Energie zur Anregung der Reaktion thermisch zugeführt. Diese Energie kann in Form einer Direktheizung, Strahlungsheizung oder durch Hochfrequenzinduktion zur Verfügung gestellt werden. Eine weitere Unterscheidung der thermisch aktivierten Gasphasenabscheidung erfolgt anhand der verwendeten Druckbereiche, in denen der Prozess abläuft. Findet die Gasphasenabscheidung bei Atmosphärendruck statt, wird von Atmosphärendruck-Gasphasenabscheidung (Atmospheric Pressure CVD, APCVD) gesprochen, während hingegen Prozesse im Druckbereich von 10 Pa bis 100 Pa als Niederdruck-Gasphasenabscheidung (Low Pressure CVD, LPCVD) bezeichnet werden.