

# 1 Abscheidung

## 1.1 PVD-Verfahren

### 1.1.1 MBE: Molekularstrahlepitaxie

Das Aufwuchsverhalten der Molekularstrahlepitaxie (Molecular beam epitaxy, MBE) entspricht dem der Siliciumgasphasenepitaxie. Jedoch wird in diesem Fall das Silicium auf eine andere Weise auf dem Wafer abgeschieden.

Der Prozess findet unter Ultrahochvakuum statt (UHV,  $10^{-8}$  Pa), der zu prozessierende Wafer wird mit der Oberseite nach unten an der Decke der Prozesskammer gehalten, und auf ca. 600 – 800 °C erhitzt damit sich das natürliche Oxid verflüchtigt.

Silicium wird dabei mit einem Elektronenstrahl erhitzt in einem Tiegel verdampft, und scheidet sich dann auf dem Wafer ab. Dotierstoffe können in einer Effusorquelle verdampft werden und gelangen so mit dem Siliciumdampf auf den Wafer. Durch gezielte Temperaturregelung und mittels Blenden kann der Teilchenstrahl genau dosiert werden. Bei diesem Verfahren ist es außerdem möglich Schichten aus verschiedenen Stoffen übereinander wachsen zu lassen, die sonst auf Grund der unterschiedlichen Atomgrößen nicht möglich wären. So lassen sich Silicium und Germanium als Schicht erzeugen, die bei Hochfrequenzanwendungen in der Bipolartechnik von Nöten ist.

Jedoch ist der Aufwand bei dieser Epitaxie zur Erzeugung des UHV sehr hoch. Um diesen Druck, der weniger als dem billionsten Teil des normalen Luftdrucks entspricht, zu erreichen, müssen mehrere Pumpen kombiniert werden und die Prozesskammer lange abgepumpt werden. Dabei kann nur ein Wafer auf einmal prozessiert werden, das Wachstum beträgt nur ca.  $1\mu\text{m}$  pro Stunde.

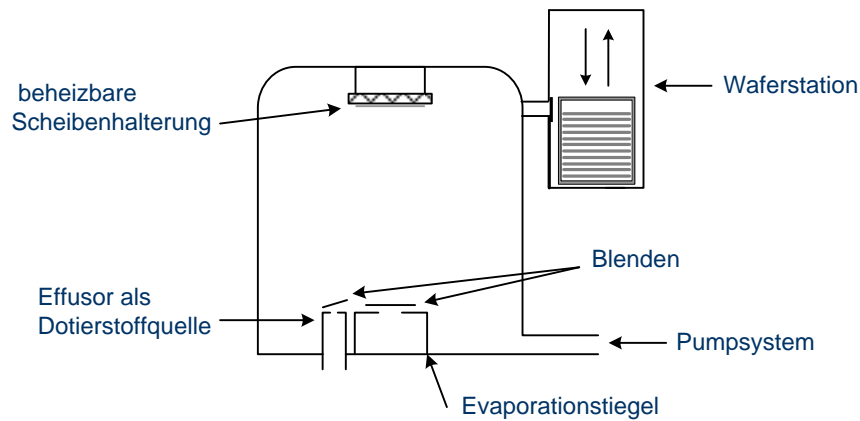


Abb. 1.1: Schematische Darstellung einer MBE-Anlage

### 1.1.2 Aufdampfen

Beim Aufdampfen können metallische Schichten, wie z.B. Aluminium, auf den Wafern erzeugt werden. Das Material befindet sich in einem Tiegel aus hochschmelzbarem Metall wie Tantal und wird dort erhitzt bis es in den gasförmigen Zustand übergeht. Der Metaldampf trifft senkrecht auf die Scheibe, so dass Kanten nicht gut bedeckt werden, die entstandene Schicht ist polykristallin. Alternativ zum Schmelzen im Tiegel kann das Metall auch mit einem Elektronenstrahl verdampft werden. Mit dieser Elektronenstrahlmethode ist es möglich eine, im Vergleich zur thermischen Aufdampfung, sehr genaue Abscheiderate zu erzielen. Da die Kantenabdeckung nicht sehr gut ist, werden diese zwei Verfahren meist zur ganzflächigen Rückseitenbeschichtung für die spätere elektrische Kontaktierung verwendet.

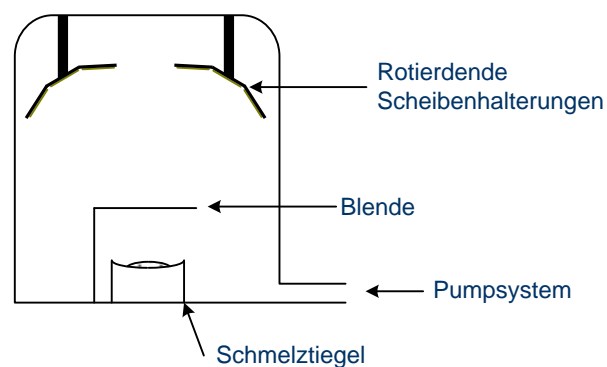
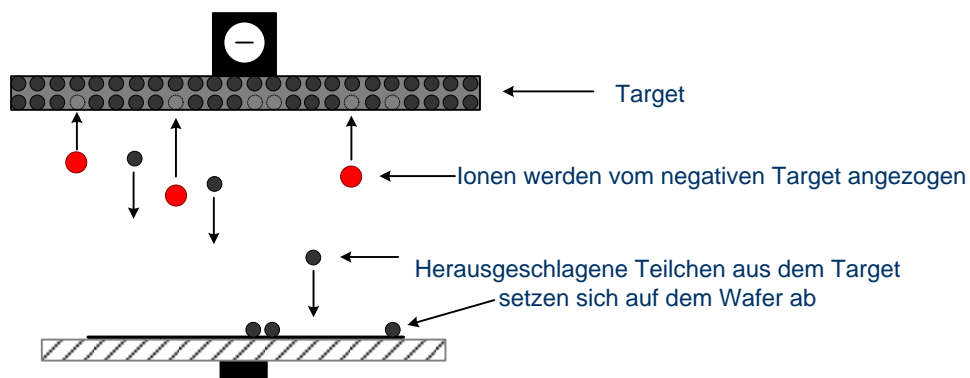


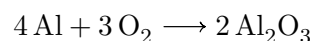
Abb. 1.2: Schematische Darstellung einer Aufdampfanlage

### 1.1.3 Sputtern: Kathodenzerstäubung

Bei der Kathodenzerstäubung werden Ionen auf ein Target beschleunigt und schlagen dort Atome oder Moleküle heraus, das Target besteht dabei aus dem Material der aufzubringenden Schicht. Die mittlere Weglänge dieser Teilchen ist wenige Millimeter lang, d.h. sie stoßen oft zusammen, dadurch werden auf der Scheibe auch vertikale Flächen gut bedeckt. Die abgeschiedenen Teilchen bilden eine poröse Schicht, die durch Temperung verdichtet werden kann. Die Kathodenzerstäubung lässt sich in das passive (inerte) und das reaktive Sputtern unterteilen.



Beim passiven Sputtern wird nur das Material des Targets auf den Scheiben abgeschieden, entsprechend dem Material des Targets lassen sich hochreine Schichten erzeugen, da ein genaues Mischungsverhältnis der Stoffe im Target möglich ist. Beim reaktiven Sputtern wird dem Gas in der Prozesskammer ein Reaktionsgas (z. B. Sauerstoff  $O_2$ ) hinzugefügt, dass sich mit dem zerstäubten Material des Targets verbindet und sich dann auf dem Wafer absetzt. Dadurch lassen sich aus einem Metalltarget (z.B. Aluminium Al) auch Isolierungsschichten herstellen:



Zur Erzeugung von metallischen Schichten wird das Gleichstrom-Sputtern (DC-Sputtern) verwendet. Dabei werden die Ionen mit bis zu 3 Kilovolt (kV) auf das Target beschleunigt und entladen sich dort. Da diese Ladungen immer abgeführt werden müssen, kann hier nur ein leitendes Material als Target dienen. Für isolierende Schichten muss das reaktive Sputtern eingesetzt werden. Will man eine isolierende Schicht direkt

aus dem Target erzeugen verwendet man das Hochfrequenzsputtern (RF-Sputtern).

Beim RF-Sputtern liegt die Spannung an je einer Elektrode hinter dem Target (Kathode) und dem Wafer (Anode) an. Durch die hochfrequente Spannung werden die Elektronen bei der positiven Halbwelle am Target von diesem angezogen, wodurch sich das Target negativ auflädt. Durch dieses negative Target werden die Ionen angezogen und schlagen dort Teilchen heraus. Beim Magnetron-Sputtern befinden sich zusätzlich Magnete hinter dem Target, so dass Elektronen in Kreisbahnen abgelenkt werden und so häufiger Argonatome ionisieren können, was einen erheblichen Anstieg der Abscheiderate verursacht. Da die Anode mit der Prozesskammer verbunden ist, hat sie auf die Oberfläche bezogen im zeitlichen Mittel eine wesentlich geringere Potentialdifferenz gegenüber dem Plasma als die Kathode, weshalb die Ionen nur zum Target und nicht zum Wafer wandern.

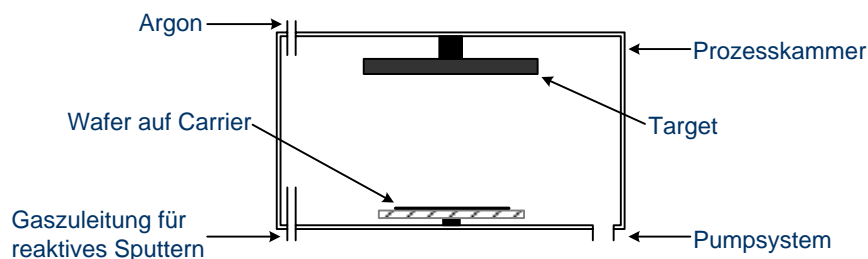


Abb. 1.3: Schematische Darstellung einer Sputteranlage

Um die Kantenabdeckung zu erhöhen verwendet man das BIAS-Sputtern, bei dem am Substrat eine negative Spannung angelegt wird. Dadurch werden auch hier, wie am Target, Teilchen der erzeugten Schicht abgetragen und die Oberfläche eingeebnet. Jedoch muss darauf geachtet werden, dass kein Abtrag des Substrats erfolgt. Dieses so genannte Rückätzen ist auch das Prinzip der meisten Plasmaätzenanlagen.

Das Sputtern eignet sich somit zur Erzeugung von metallischen Schichten mit guter Konformität und sehr guter Reproduzierbarkeit. Der Aufwand ist gering, der Unterdruck mit 5 Pa recht einfach zu erzeugen.