

Halbleitertechnologie von A bis Z

Waferherstellung

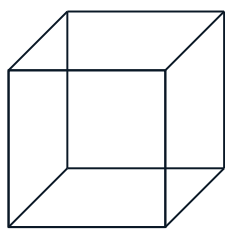
Herstellung des Einkristalls	3
<i>Der Einkristall</i>	<i>3</i>
<i>Kristallziehverfahren nach Czochralski</i>	<i>3</i>
<i>Tiegelfreies Zonenziehen</i>	<i>5</i>

Herstellung des Einkristalls

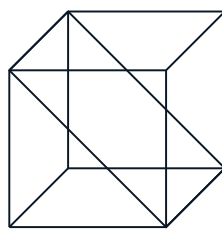
Der Einkristall

Ein Einkristall (Monokristall), wie er in der Halbleiterfertigung benötigt wird, ist eine regelmäßige Anordnung von Atomen. Daneben gibt es polykristallines (Zusammensetzung von vielen kleinen Einkristallgittern) und amorphes Silicium (ungeordnete Struktur). Je nachdem, welche Lage das Gitter im Raum hat, besitzen Siliciumscheiben unterschiedliche Oberflächenstrukturen, die Einfluss auf verschiedene Parameter, wie die Ladungsträgerbeweglichkeit, von Bauelementen haben.

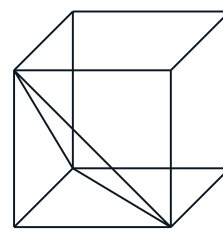
Kristallorientierungen



Orientierung 100



Orientierung 110



Orientierung 111

In der Chipfertigung wird nahezu ausschließlich (100)-orientiertes Silicium verwendet. Der Grund liegt an der Grenzfläche zum Gateoxid: Dort bleiben nach der Oxidation ungesättigte Bindungen zurück, und ihre Zahl ist bei dieser Orientierung am geringsten. Die (111)-Orientierung hat die dichteste Belegung mit Bindungen und damit die meisten Störstellen; sie oxidiert dafür am schnellsten.

Auch in der Mikromechanik ist die Kristallorientierung von besonderer Bedeutung. So lassen sich auf (110)-Silicium Mikrokanäle mit senkrechten Wänden herstellen, wohingegen sich bei (100)-Orientierung Flankenwinkel von $54,74^\circ$ ergeben.

Kristallziehverfahren nach Czochralski

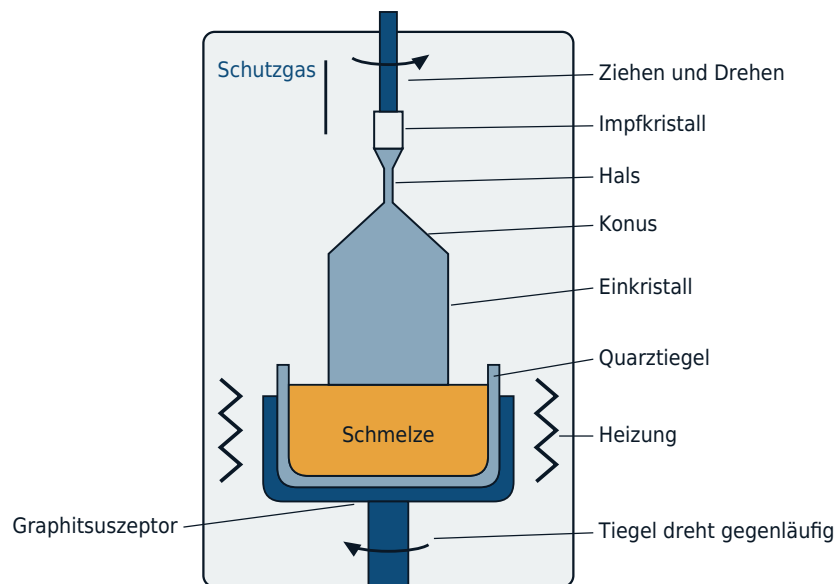
Das polykristalline Silicium, das nach der Zonenreinigung vorliegt, wird in einem Quarztiegel knapp über dem Schmelzpunkt von Silicium aufgeschmolzen.

Der Schmelze können jetzt Dotierstoffe (z.B. Bor oder Phosphor) hinzugefügt werden, um entsprechende elektrische Eigenschaften des Einkristalls zu erzielen.

Ein Impfkristall (Einkristall) an einem drehbaren Stab wird an die Oberfläche der Siliciumschmelze gebracht. Dieser Keim gibt die Orientierung des Kristalls vor. Beim Kontakt des Keims mit der Schmelze lagert sich Silicium am Keim an und übernimmt dessen Kristallstruktur. Dadurch, dass die Tiegeltemperatur nur wenig über dem Schmelzpunkt von Silicium liegt, erstarrt das angelagerte Silicium sofort am Keimling und der Kristall wächst.

Der Keim wird unter ständigem Drehen langsam nach oben gezogen, wobei stetiger Kontakt zur Schmelze besteht. Der Tiegel dreht sich dabei entgegengesetzt zum Impfkristall. Eine konstante Temperierung der Schmelze ist unerlässlich, um ein gleichmäßiges Wachstum zu gewährleisten. Der Durchmesser des Einkristalls wird durch die Ziehgeschwindigkeit, die 2-25 cm/h beträgt, bestimmt. Je schneller gezogen wird, desto dünner wird der Kristall. Die gesamte Apparatur befindet sich dabei in einer Schutzgasatmosphäre, damit es nicht zu einer Oxidation des Siliciums kommt.

Kristallziehen nach Czochralski
Der Impfkristall gibt die Orientierung des Kristalls vor



Durchmesser über Ziehgeschwindigkeit und Schmelztemperatur eingestellt.

Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens ist, dass sich die Schmelze während des Vorgangs immer mehr mit Dotierstoffen anreichert, da sich die Dotierstoffe in der Schmelze besser lösen, als im Festkörper. Somit ist die Dotierstoffkonzentration entlang des Siliciumstabes nicht konstant. Zudem

können sich Verunreinigungen oder Metalle aus dem Tiegel lösen und im Kristallgitter eingebaut werden.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind die geringen Kosten, und die Möglichkeit, größere Wafer herzustellen, als dies beim Zonenziehen der Fall ist (s. unten).

Tiegelfreies Zonenziehen

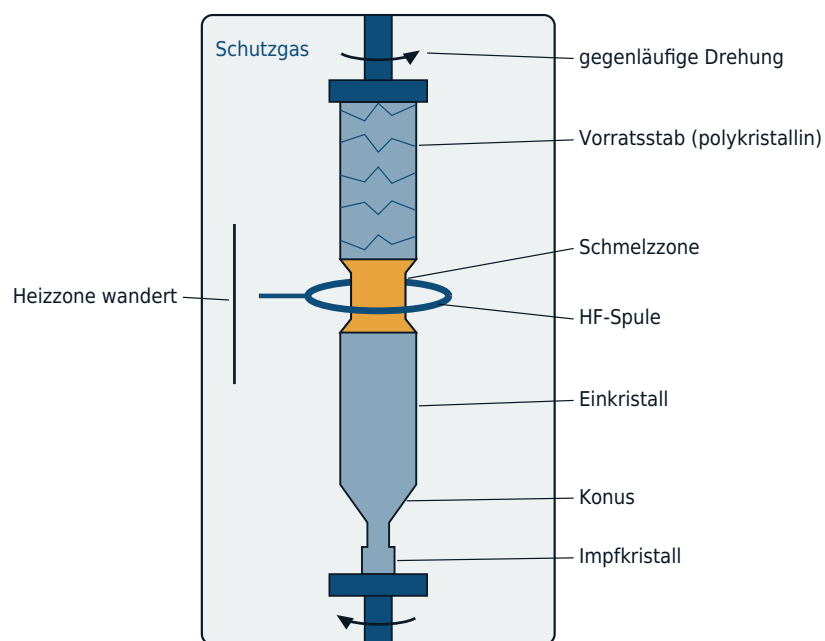
Im Gegensatz zum Kristallziehverfahren nach Czochralski wird beim tiegelfreien Zonenziehen nicht das gesamte Polysilicium geschmolzen, sondern, wie bei der Zonenreinigung, nur ein kleiner Bereich (wenige Millimeter).

Auch hier dient ein Impfkristall, der an das Ende des polykristallinen Siliciumstabs herangeführt wird, als Vorgabe der Kristallstruktur. Der Polykristall wird aufgeschmolzen und übernimmt die Struktur des Keimlings. Die Heizzone wird langsam am Stab entlang geführt, der polykristalline Siliciumstab wandelt sich langsam in einen Einkristall um.

Da nur ein kleiner Bereich des polykristallinen Siliciums aufgeschmolzen wird, können sich kaum Verunreinigungen anlagern (wie bei der Zonenreinigung verlagern sich die Fremdatome ans Ende des Siliciumstabs). Die Dotierung erfolgt hier durch Zusätze der Dotierstoffe ins Schutzgas (z.B. mit Diboran oder Phosphin), welches die Apparatur umströmt.

Tiegelfreies Zonenziehen

Nur wenige Millimeter des Stabs sind geschmolzen



Ohne Tiegel kein Kontakt zu Fremdmaterial; dotiert wird über das Schutzgas.