

1 Waferherstellung

1.1 Herstellung des Einkristalls

1.1.1 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.

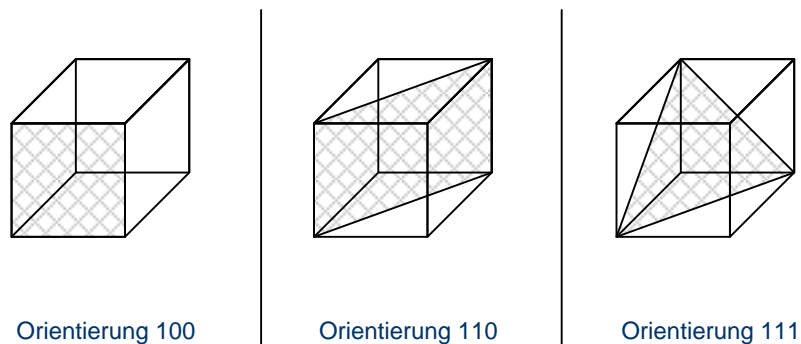


Abb. 1.1: Kristallorientierungen

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.

1.1.2 Kristallziehverfahren nach Czochralski

Das Silicium, das nach der Zonenreinigung in polykristalliner Form 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.

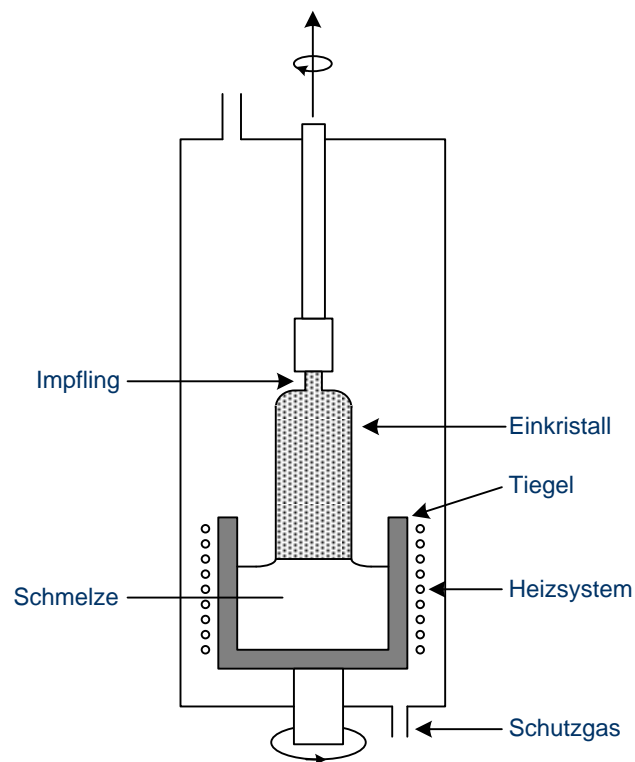


Abb. 1.2: Kristallziehen nach Czochralski

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 gleichmä-

ßiges 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 dabei sich in einer Schutzgasatmosphäre, damit es nicht zu einer Oxidation des Siliciums kommt.

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).

1.1.3 Tiegeelfreies Zonenziehen

Im Gegensatz zum Kristallziehverfahren nach Czochralski wird beim tiegeelfreien 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.

1.1.4 Wieso sind Wafer rund?

Oft stellt sich die Frage, wieso Wafer rund sein müssen, wo die Mikrochips doch rechteckig sind. Dadurch ergibt sich auf dem Wafer immer ein Verschnitt, also eine Fläche,

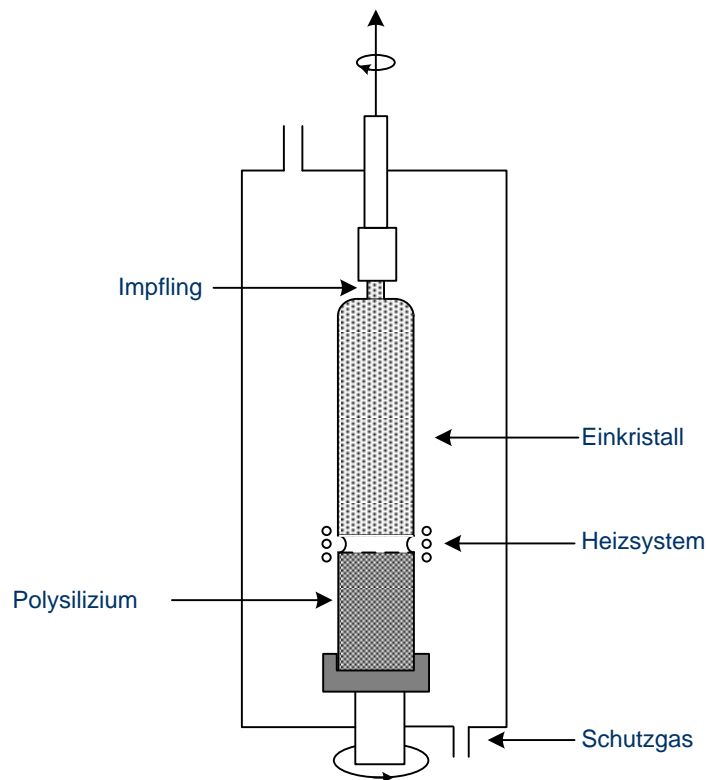


Abb. 1.3: Tiegelfreies Zonenziehen

auf der keine vollständigen Chips Platz finden, und die am Ende der Halbleiterfertigung verworfen werden muss.

Nach Erläuterung der beiden Herstellungsverfahren – dem Kristallziehverfahren und dem Zonenziehen – kann diese Frage leicht beantwortet werden.

Ein Siliciumwafer für die Mikrochipherstellung muss als Einkristall vorliegen. Dies ist nur mit den genannten Verfahren möglich, und diese liefern prinzipbedingt eine kreisrunde Form.

Wäre es nun sinnvoll, die hochreinen Siliciumstäbe vom Waferhersteller in eine rechteckige Form sägen zu lassen, und das überschüssige Material wieder einzuschmelzen und erneut zu verwenden?

Auch wenn dies technisch machbar wäre, so bietet die runde Form der Siliciumwafer trotz rechteckiger Mikrochips dennoch einige Vorteile:

- Das Begraden der runden Siliciumstäbe bedeutet zusätzlichen Stress für das

Material und würde zwangsläufig zu Kristallfehlern führen, die sich auf die Qualität der Chips auswirken würde.

- Runde Wafer sind wesentlich stabiler. Eckige Wafer könnten kaum ohne Beschädigung transportiert und bearbeitet werden.
- Eine gleichmäßige Bearbeitung während der Chipfertigung mit radialsymmetrischen Prozessen (CMP, Spin-on, Ätzen) ist wesentlich einfacher.
- Ein schmaler Randbereich müsste auch bei rechteckigen Wafern immer verworfen werden, da die Scheiben während der Bearbeitung gehalten werden müssen. Abgeschiedene Schichten würden abplatzen und so zusätzliche Partikel verursachen, wenn diese bis an den äußersten Rand reichen.

Mit zunehmender Wafergröße nimmt der Verschnitt auch immer weiter ab.

Rechteckige Wafer findet man hingegen bei der Fertigung von Solarzellen. Zumeist finden hier polykristalline Wafer Anwendung, die in rechteckigen Formen gegossen werden können. Die Fertigung ist verhältnismäßig einfach, so dass auch eckige Wafer bearbeitet werden können. Meist werden die Ecken zusätzlich abgeschrägt.