

Tiegelziehen - die gebräuchlichste Variante zur Herstellung hochreiner Silicium-Einkristalle

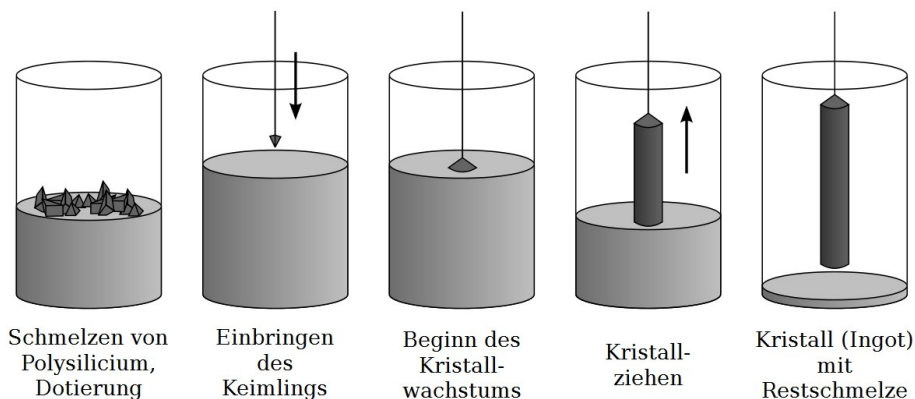
Jeder kennt das Zonenschmelzverfahren zur Herstellung von einkristallinem Silicium. Dabei werden nur weniger als 20% des Reinstsiliciums so hergestellt. Weitau häufiger angewendet wird das **Tiegelziehen (Czochralski-Verfahren, Ziehen aus der Schmelze)**.

Im Tiegel wird die zu kristallisierende Substanz im **Ostwald-Miers-Bereich** gehalten. Das ist derjenige Temperaturbereich, in dem beim Abkühlen in einer Flüssigkeit der Schmelzpunkt unterschritten oder in einer Lösung das Löslichkeitsprodukt überschritten wird, ohne dass spontan Kristallisation einsetzt. Anders gesagt ist es der Temperaturbereich, in dem sich die Schmelze im unterkühlten bzw. die Lösung im übersättigten Zustand halten lässt (**unterkühlte Schmelze bzw. übersättigte Lösung**). Eine Flüssigkeit oder Lösung im Ostwald-Miers-Bereich ist thermodynamisch metastabil und kristallisiert lediglich bei Hinzugabe von Impfkristallen oder weiterer Unterkühlung.

In die Oberfläche der Schmelze wird an einem langsam rotierenden Metallstab ein Kristallisationskeim (z. B. kleiner Impfkristall) der zu züchtenden Substanz eingetaucht. Der Impfkristall muss am Metallstab exakt mit der gewünschten Kristallorientierung ausgerichtet

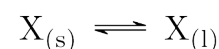
sein, da er die Kristallorientierung des entstehenden Einkristalls vorgibt. Das um nur wenige Millimeter eingetauchte Ende des Impfkristalls muss schmelzen, bis sich eine ganz homogene Grenzschicht zwischen der Schmelze und dem festen Teil des Impfkristalls ergibt. Der Stab mit dem Einkristall wird langsam wieder nach oben gezogen, während die Schmelze an der sich ausbildenden Grenzfläche erstarrt. Durch Variation von Ziehgeschwindigkeit und Temperatur erreicht der wachsende Kristall den gewünschten Durchmesser. Durch Drehen und langsames Nach-oben-ziehen – ohne dass der Kontakt zu der Schmelze abreißt – wächst also das erstarrende Material zu einem Einkristall, der das Kristallgitter des Keims fortsetzt. Die als **Ingot** bezeichnete Kristallsäule kann bis über zwei Meter lang werden. Der derzeitige Standard in der Halbleiterindustrie beträgt 30 cm Durchmesser, woraus 300-mm-Wafer hergestellt werden.

Statt hochreinem Material kann je nach angestrebter Verwendung auch vordotiertes Material als Schmelze verwendet werden, beispielsweise mit Elementen der III. oder V. Hauptgruppe des Periodensystems, damit es direkt als Basismaterial für Integrierte Schaltungen eingesetzt werden kann.



Mit diesem Verfahren ist die Herstellung von reinen, monokristallinen Materialien möglich. Es erreicht nicht ganz die Qualität des Zonenschmelzverfahrens, ist jedoch kostengünstiger. Es werden unter anderem Einkristalle aus Halbleitern wie z. B. Silicium, Metallen wie z. B. Palladium, Platin, Gold und Silber, Salzen wie z. B. Alkalimetallhalogenide, Oxide und Silicate wie z. B. Yttrium-Aluminium-Granate und Yttrium-Eisen-Granate mit zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten vor allem für optische Zwecke (Lasertechnik und Sensorik) mit dieser Methode hergestellt.

Der **Grund für das Abscheiden reiner Kristalle** kann in der **Schmelzpunktniedrigung** gesehen werden: Unreine Schmelzen (also solche, die Fremdstoffe enthalten), besitzen einen niedrigeren Schmelzpunkt als reine Stoffe. Der reine Stoff scheidet sich deshalb bevorzugt ab. Weiterhin ist die Abscheidung von Atomen oder Ionen bei fein eingestellter Durchführung entlang des Gleichgewichts



an einem reinen Kristall oder Kristallisationskeim des Stoffs begünstigt. Die Abscheidung von Fremdatomen ist hingegen kinetisch erschwert.