

6. Halbleiterbauelemente

6.1. Technologische Prinzipien der Herstellung

Die Herstellung von modernen Halbleiterbauelementen erfordert einen extrem hohen Standard der Beherrschung technologischer Prozesse. Folge davon ist die gegenwärtig nahezu globale Arbeitsteilung auf diesem Gebiet. Das Halbleitermaterial muss zunächst in hoher chemischer Reinheit hergestellt und daraus Einkristalle gezüchtet werden. Eine effektive Beseitigung von Verunreinigungen im Rohmaterial stellt das *Zonenschmelzverfahren* dar. Hierbei wird das Ausgangsmaterial langsam durch eine Heizung gezogen und dabei partiell aufgeschmolzen. Bei der Rekristallisation werden die Verunreinigungen seltener wieder ins Kristallgitter eingebaut und reichern sich in der Schmelzzone an. Nach etlichen Wiederholungen des Prozesses ist das Material schließlich ausreichend sauber. Zur Erzeugung von großen Einkristallen wird das CZOCHRALSKI⁶⁶-Verfahren angewendet s. Abb. 6.1.

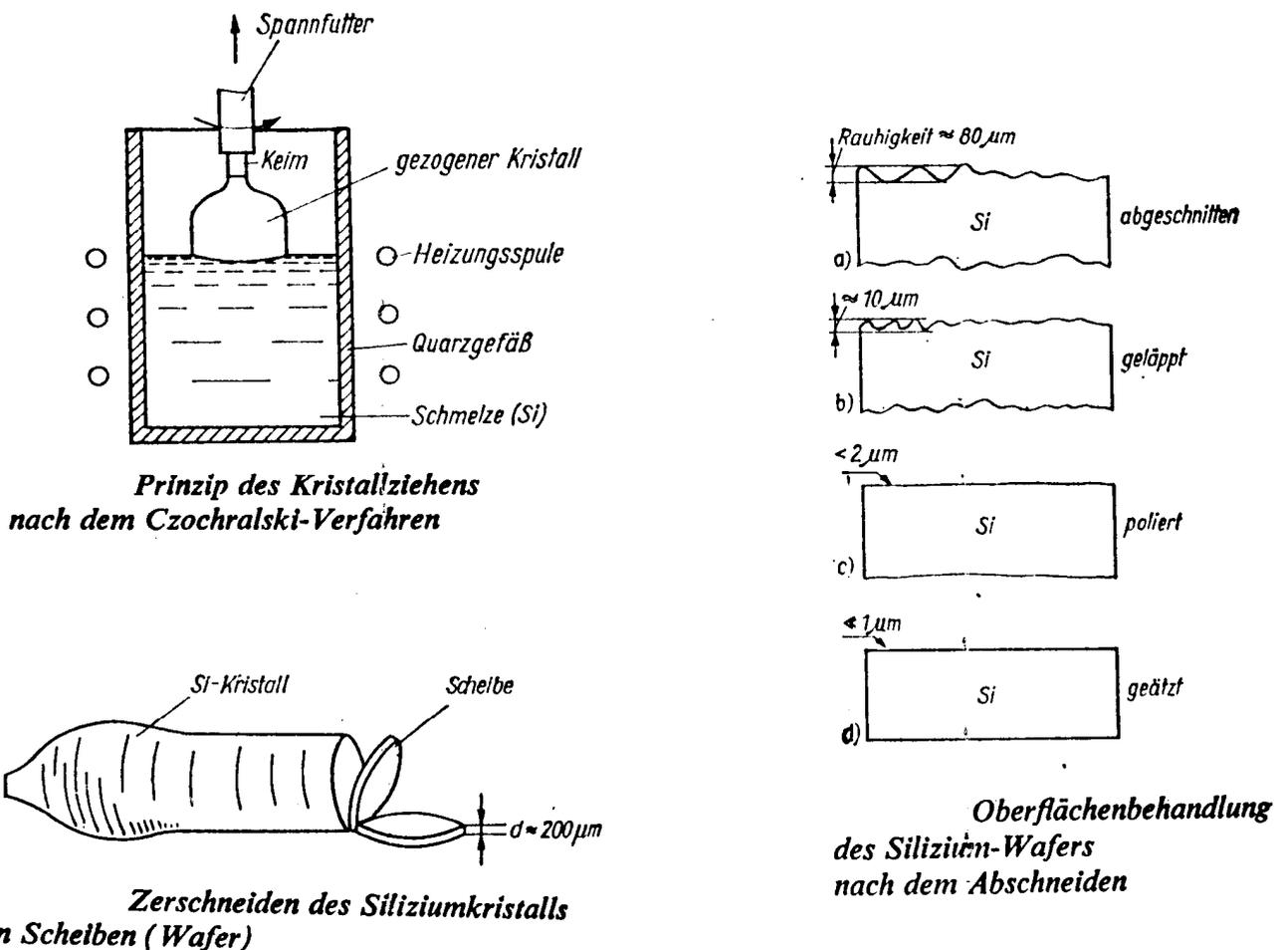


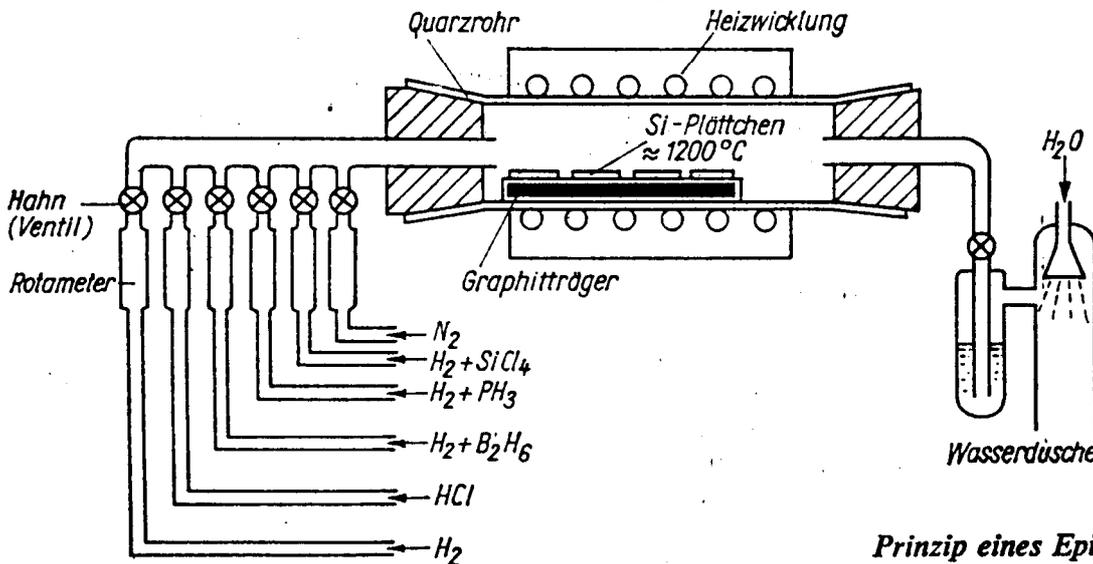
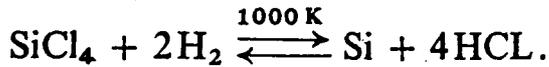
Abb. 6.1 Verfahren zur Kristallzüchtung und Bearbeitung von Einkristallen

In eine Schmelze des Halbleiters wird ein Impfkristall eingebracht, der über seine Halterung gekühlt wird und nur partiell aufschmilzt. Der Kristall wird unter Drehung langsam aus der Schmelze gezogen und wächst dabei. Es entstehen birnenförmige Einkristalle von bis zu 30cm Durchmesser. In die Schmelze können Fremdatomen gegeben werden, wodurch das Grundmaterial schon *p*- bzw. *n*-leitend ist. Anschließend wird der Einkristall in ca. 0,5mm dünne Scheiben geschnitten, deren Oberfläche durch Schleifen, Polieren und Ätzen fein bearbeitet wird. Zur Erzeugung von *pn*-Schichten wird entweder ein bereits dotiertes Grundmaterial mit komplementären Fremdatomen dotiert oder es werden aufeinander folgend unterschiedliche Dotierungen eingebracht. Hierzu werden unterschiedliche Verfahren angewendet. Bei der *Epitaxie* wächst aus der Gasphase auf dem Wafer eine dünne einkristalline Schicht des gleichen HL-Materials auf, wobei gleichzeitig zugeführte Störatome

⁶⁶ Jan CZOCHRALSKI (1885-1953) poln. Chemiker; Ziehen von Einkristallen aus der Schmelze

mit ins Gitter eingebaut werden. Verändert man die Zusammensetzung des Gasgemisches im Verlaufe des Prozesses werden Profile aus *p*- und *n*-Schichten aufgebaut s. Abb. 6.2.

Tetrachloridprozeß

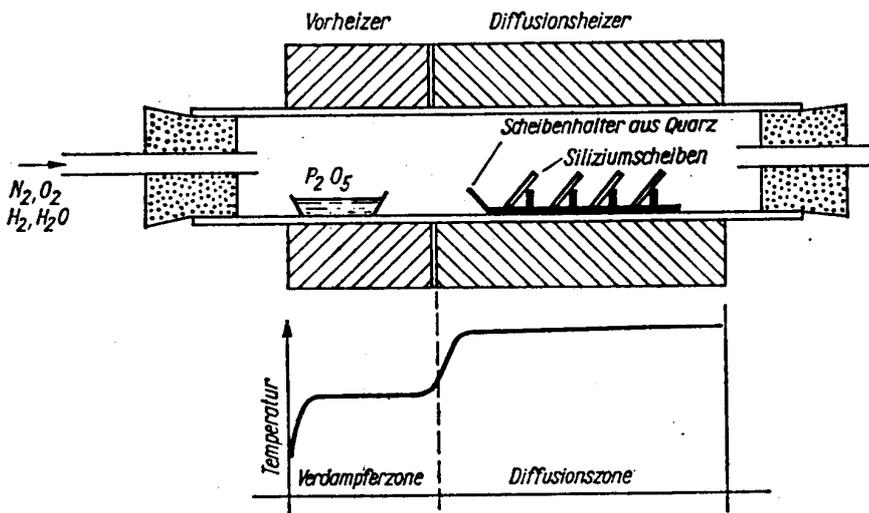


Prinzip eines Epitaxiereaktors

Abb.6.2 Dotierung von Halbleitern durch Epitaxie

Die Wafer werden stark erhitzt, so dass SiCl_4 zerfällt und Si auf der Waferoberfläche kristallisiert. Dabei werden Fremdatome mit eingebaut.

Prinzip einer Diffusionsanlage

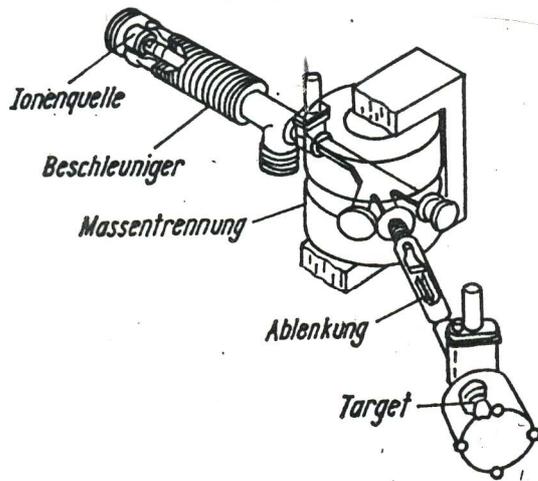


$$N(x) = N_0 \exp - \frac{x^2}{L_D^2}$$

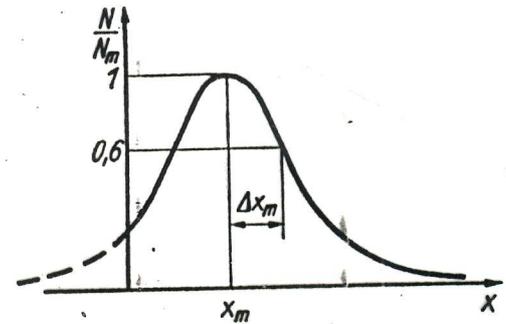
Abb. 6.3 Dotierung von Halbleiteroberflächen durch Diffusion

Durch *Diffusion* können Dotanten in eine HL-Oberfläche eingebracht werden. Da bei hohen Temperaturen die Fremdatome im HL-Gitter in Richtung des Konzentrationsgefälles wandern (diffundieren), bildet sich ein für Diffusionsprozesse typisches Tiefenprofil $N(x)$ der Dotierungskonzentration heraus (Gauss-Glockenkurve), s. Abb. 6.3.

Eine moderne Methode ist die Ionenstrahlimplantation. Hierbei werden ionisierte Fremdatome in einem elektrischen Feld beschleunigt und auf die HL-Oberfläche geschossen. Dabei dringen die Ionen in eine bestimmte Tiefe des HL-Materials vor, die mit der Beschleunigungsspannung eingestellt werden kann. Da sich Ionen überdies gut fokussieren lassen, ermöglicht diese Methode die Erzeugung lateral strukturierter „verlorener“ Störstellenprofile s. Abb. 6.4.



**Prinzip
einer Ionenimplantationsanlage**



**Störstellenprofil
bei Ionenimplantation**

Abb.6.4 Aufbau einer Anlage zur Ionenimplantation (links) und Störstellenprofil(rechts)