

GRUNDSCHALTUNGEN & BAUELEMENTE DER HALBLEITERTECHNIK

Halbleiterwerkstoffe sind Materialien, die nur bedingt leitfähig sind. Als Halbleiterwerkstoffe eignen sich zum Beispiel die chem. Elemente Germanium [Ge], Silizium [Si], Selen [Se] und Galliumarsenid [GaAs]. Prinzipiell läßt sich sagen, dass Halbleiter mit steigender Temperatur eine bessere Leitfähigkeit aufweisen, als bei tiefen Temperaturen. Am absoluten Nullpunkt ($0^{\circ}\text{K} = -272^{\circ}\text{C}$) wirken sie wie Isolatoren. Um die Leitfähigkeit dieser vierwertigen Halbleitermaterialien bestimmten Aussenbedingungen entsprechend anpassen zu können, werden sie dotiert. Unter dem Begriff *dotieren* versteht man ein gezieltes Verunreinigen des Werkstoffes durch das Einführen einer gewissen Anzahl von Fremdatomen in das Kristallgitter des ursprünglichen Werkstoffes. So werden zum Beispiel drei- oder fünfwertige Atome eingesetzt, welche auf der äussersten Schale der Halbleiterwerkstoffatome als Valenzelektronen integriert werden.

Durch diesen Dotierungsvorgang stehen bei dreiwertig dotierten Halbleitermaterialien ein Bindungselektron weniger und bei fünfwertig dotierten Materialien eines mehr zum Ladungstransport zur Verfügung. Um eine Vorstellung von der Dotierungsmenge zu erhalten, spricht man von einer starken Dotierung, wenn pro $10^2 - 10^4$ Si-Atomen ein Fremdatom im Kristallgitter eingeführt wurde. Equivalent hierzu gelten pro Fremdatom $10^6 - 10^9$ Atome als gering dotiert. Je nach Dotierungsverfahren ergeben sich *Akzeptoren* bzw. *p-Leiter* oder *Donatoren* bzw. *n-Leiter*.

Akzeptoren bzw. p-Leiter:

Ein Halbleitermaterial, welches dreiwertig dotiert wurde - hierfür stehen zum Beispiel Bor und Aluminium zur Verfügung - besitzt auf seiner äusseren Schale ein Elektron zu wenig. Hieraus entsteht dort eine sogenannte *Elektronenfehlstelle*. So bleibt eine für den vollständigen Kristallgitteraufbau notwendige Stelle unbesetzt. Man spricht auch im Allgemeinen von einer *p-Leitung*, auch *Löcherleitung* genannt. Jede dieser Störstellen ist in sich elektrisch neutral, verhält sich jedoch gegenüber anderen Atomen wie ein Loch und entzieht diesen ein freies Elektron, so dass das Loch scheinbar wandert. Dieser Vorgang, wenn also einem anderen Atom ein Elektron entzogen wird und in das bisherige Loch fällt und an seiner alten Stelle ein neues Loch hinterläßt, bezeichnet man als *Rekombination*. Da diese dreiwertig dotierten Halbleiter für freie Elektronen empfänglich sind, um das Kristallgitter zu vervollständigen, bezeichnet man sie auch als *Akzeptoren*.

Donatoren bzw. n-Leiter:

Wird ein fünfwertiges Material - zum Beispiel Phosphor und Arsen - zum Dotieren ausgewählt, so erscheint auf der äusseren Schale ein Valenzelektron mehr, als ursprünglich vorhanden waren. Hieraus läßt sich leicht die logische Schlußfolgerung ziehen, dass jetzt ein Elektron mehr zum Ladungstransport zur Verfügung steht, da nur vier Elektronen für Bindungsaufgaben benötigt werden. Das fünfte Elektron kann sich schon bei vergleichbar geringen Temperaturen aus dem Gitter lösen und erhöht somit die Leitfähigkeit des Halbleiters. Da diese Elektronen im Kristallgitter nun frei beweglich sind, spricht man von einer *n-Leitung* bzw. *Elektronenleitung*. Die fünfwertig dotierten Halbleitermaterialien bezeichnet man in Folge des freien Elektrons als *Donatoren*.

Majoritäts- & Minoritätsträger:

In jedem dotierten Material finden zwei Leitungsvorgänge statt. Man kennzeichnet sie als *Eigen-* und *Störstellenleitung*. Die Eigenleitung ist jedoch so gering, dass man sie nahezu vernachlässigen kann; für unsere Überlegungen ist augenblicklich die Störstellenleitung, die durch die Dotierung zustande kommt interessant.

Majoritätsträger (=größer, in der Mehrheit befindlich) sind die "Elemente" der Dotierung, die sich in einem Werkstoff in der Überzahl befinden; in einem *n-Leiter* (fünfwertige Dotierung) sind dies die Elektronen, hingegen bei einem *p-Leiter* (dreiwertige Dotierung) stellen die Löcher die Mehrheit dar. Die jeweilige andere Seite stellen die Minoritätsträger dar, aufgrund der Tatsache, dass sie sich in der Minderheit befinden.

pn-Übergang:

Werden jeweils eine p-leitende und eine n-leitende Halbleiterschicht miteinander in Kontakt gebracht, so entsteht an der Berührungszone eine *Grenzschicht*. Die freien Elektronen des fünfwertig dotiertem Material diffundieren in die dreiwertige Schicht und rekombinieren dort mit den positiven Störstellen. Diese Elektronen- & Löcherbewegung entsteht zur Stabilisierung des Kristallgitters. Ebenso erfolgt mit dieser Diffusion eine Aufladung der zuvor elektrisch neutralen Bereiche. Die n-Schicht wird durch die sie verlassenden Elektronen positiv geladen, die p-Schicht - entsprechend umgekehrt - erfährt eine negative Ladung. Diese Raumladung hat wiederum zur Folge, dass eine *Sperrschicht* sich aufbaut, die eine weitere Diffusion aller verfügbaren Ladungsträger verhindert. Diese Sperrschicht weist nun Isolationseigenschaften auf.

Legt man nun eine Spannungsquelle so an die pn-Materialien, dass der Pluspol an der p-leitenden und der Minuspol an der n-leitenden Schicht anliegen, so wird die n-Schicht mit Elektronen geflutet die in die Sperrzone gedrückt werden, so dass sie mit den übrigen Löchern rekombinieren und dann bei entsprechender Spannung einen schmalere Sperrschicht zur Folge haben. Hierbei spricht man von einem in *Durchlaßrichtung* geschaltetem pn-Übergang.

Im umgekehrten Fall - also der Pluspol an die n-Leitung und der Minuspol an die p-Leitung - erfolgt eine Verbreiterung der Sperrschicht, da weitere Elektronen aus der n-Schicht zum Pluspol der Spannungsquelle gezogen werden und weitere Löcher auf der Seite des Minuspols entstehen. Dieser Fall wird als *Sperrrichtung* beschrieben.