

Der PN-Übergang

Die wichtigsten Halbleiterwerkstoffe sind Silizium und Germanium. Diese Atome haben 4 Valenzelektronen. In Abbildung 1 sind die Silizium-Atomrumpfe und deren Valenzelektronen vereinfacht dargestellt. Bei einem Siliziumkristall ist die Gitterstruktur nicht nur in der Ebene, sondern auch im Raum. Silizium ist ein Nichtleiter, da alle Elektronen an die Atomrumpfe gebunden sind und somit freie Elektronen fehlen.

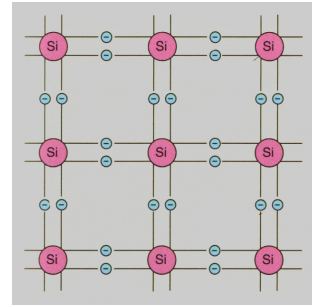


Abb. 1: Gitterstruktur Silizium

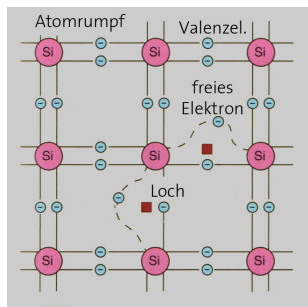


Abb. 2: Silizium bei $T > -273.15^\circ\text{C}$

Bei Temperaturen über dem absoluten Nullpunkt (-273.15°C) reißen durch die Wärmebewegungen der Atome die Bindungen einzelner Valenzelektronen auf. Die Elektronen bewegen sich frei im Kristallgitter. An den Stellen, an welchen die Elektronen saßen, gibt es nun Fehlstellen, sogenannte **Löcher**. Die Löcher sind immer positiv geladen, da die positive Ladung des Atomkerns überwiegt. Kommt ein Elektron in die Nähe eines Loches, so wird es wieder eingefangen. Dieser Vorgang nennt man **Rekombination**. Je höher die Temperatur, desto mehr freie Elektronen.

Die Leitfähigkeit von Halbleitern ist temperaturabhängig

Um Halbleiter herzustellen, wie wir sie kennen, möchte man noch mehr freie Elektronen und die Temperaturabhängigkeit sollte möglichst klein sein. Man fügt in das Silizium-Kristallgitter Fremdatome ein. Dieser Vorgang nennt man **Dotieren**. Es werden Atome mit 3 oder 5 Valenzelektronen verwendet. Fügt man im Silizium-Kristall fünfwertige Fremdatome hinzu (Arsen (As), Phosphor (P), Antimon (Sb)), so werden nur 4 Valenzelektronen für die Bindung benötigt. Ein Valenzelektron bleibt als frei bewegliches Elektron im Silizium-Kristallgitter vorhanden. Dieser Halbleiter wird **N-Leitend** (Abb. 3) genannt.

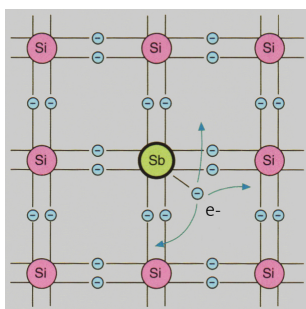


Abb. 3: N-leitend

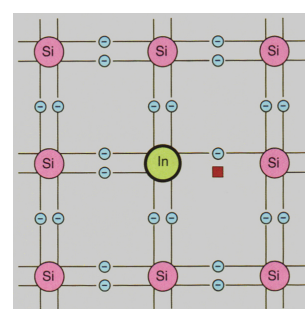


Abb. 4: P-leitend

Fügt man dem Silizium Fremdatome mit 3 Valenzelektronen hinzu, z. Bsp. Bor (B), Aluminium (Al) oder Indium (In), so entstehen Störstellen. Diese Elektronenlöcher können durch freie Elektronen aufgefüllt werden und es entsteht an einem anderen Ort ein Loch. Hier spricht man von einem **P-Leitenden** Halbleiter (Abb. 4). Wird 1 Bor-Atom auf 10^5 Silizium-Atome hinzugefügt, so steigt die Leitfähigkeit um das Tausendfache!

Wird Silizium mit drei- oder fünfwertigen Fremdatomen dotiert, so entstehen Störstellen. Diese Störstellen beeinflussen die Leitfähigkeit.

Fügt man einen P-Leitenden und einen N-Leitenden Halbleiter zusammen, so entsteht ein PN-Übergang. Dieser PN-Übergang (Abb. 5) ist das Entscheidende für alle elektronischen Halbleiter.

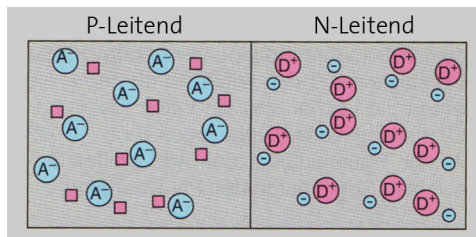


Abb. 5: PN-Übergang

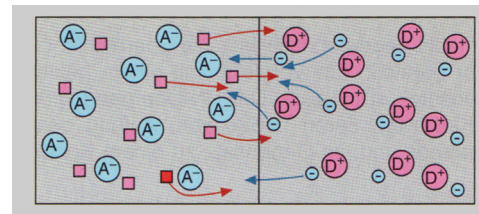


Abb. 6: Diffusion der Elektronen und Löcher

Durch die verschiedenartige Konzentration der Ladungen, wandern die freien Elektronen aus dem N-Leitenden Material in das P-Leitende. Die Löcher wandern vom P-Leitenden in das N-Leitende Material. Dieses „Wandern“ nennt man **Diffusion** (Abb. 6), das Ladungsgleichgewicht wird gestört. Die negativen Ladungen im P-Halbleiter und die positiven Ladungen im N-Halbleiter begrenzen am PN-Übergang die Diffusion. Ein Konzentrationsausgleich über den gesamten Halbleiter wird verhindert. Am PN-Übergang „fressen“ die Löcher die freien Elektronen. Es entsteht eine **Raumladungszone** (Abb. 7).

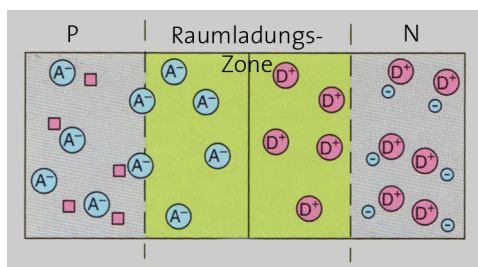


Abb. 7: Raumladungszonen

Sind beide Halbleiter hoch dotiert, dann ist die Raumladungszone schmal. Zwischen den Ladungen des PN-Überganges entsteht eine Diffusionsspannung. Für Silizium beträgt die Diffusionsspannung ca. 500 bis 800 mV. (Germanium ca. 300mV)

- PN-Übergang in Durchlassrichtung:

Legt man eine äussere Spannung an den PN-Übergang, und zwar so, dass der Pluspol am P-Halbleiter liegt, so wirkt die angelegte Spannung der Diffusionsspannung entgegen. Aus dem N-Halbleiter werden freie Elektronen gegen den PN-Übergang gedrückt. Die Löcher wandern vom P-Halbleiter in Richtung PN-Übergang. Ist die äussere Spannung grösser der Diffusionsspannung, so kann ein Strom fließen. Dieser Wert nennt man **Schleusen- oder Schwellspannung**.

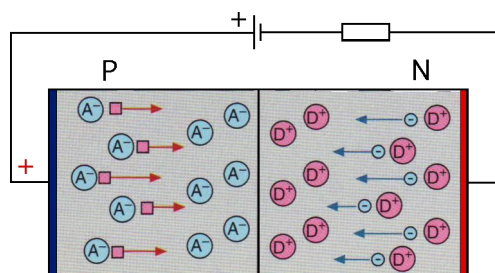
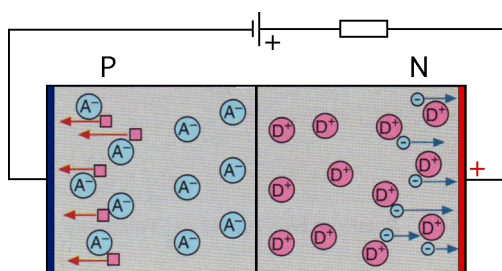


Abb. 8: PN-Übergang in Durchlassrichtung

Bei geringer Spannungserhöhung gibt es einen relativ grossen Stromanstieg. Um den Strom zu begrenzen, ist ein Widerstand notwendig.

- PN-Übergang in Sperrrichtung:



Wird eine äussere Spannung, mit dem Pluspol an den N-Halbleiter, angelegt so werden die Löcher und die freien Elektronen von der Raumladungszonen weggezogen. Die Raumladungszone wird breiter und es fliesst nur noch ein ganz kleiner, temperaturabhängiger Leckstrom (einige μA). Der PN-Übergang wirkt wie eine Kapazität. Die Grösse ist abhängig von der angelegten Spannung. Dieser Effekt wird bei der Kapazitätsdiode ausgenutzt.

Abb. 9: PN-Übergang in Sperrrichtung

Spannungs-Stromkennlinie

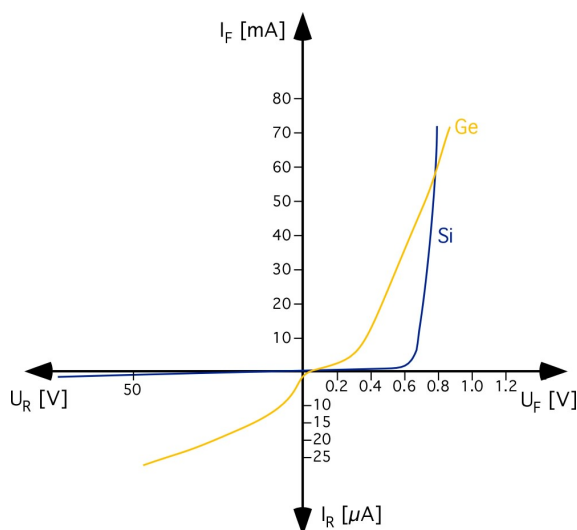


Abb. 11: U-I-Kennlinie einer Ge- und Si-Diode

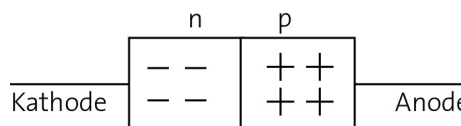


Abb. 10: PN-Aufbau einer Diode

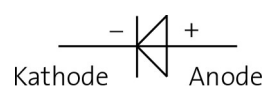


Abb. 12: Schaltzeichen einer Diode