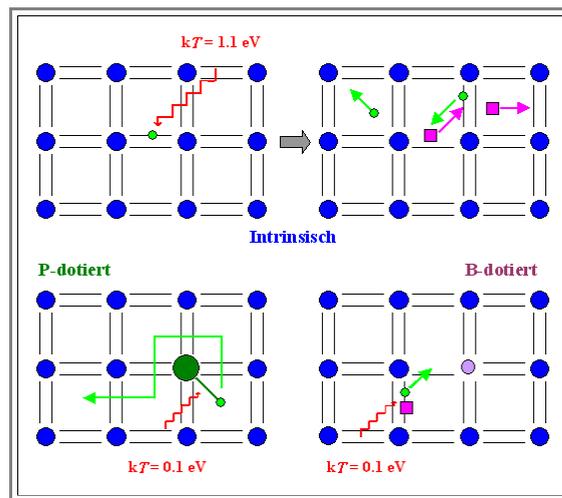


# Elektronen und Löcher im Raum

Illustration

Wir zeichnen einen **Si** (oder **Ge** oder **GaAs**, ...) Kristall mit seinen **4** Bindungen pro Atom schematisch mal so:



Selbstverständlich hat **Si** *kein* kubisches Gitter (sondern ???), aber so lassen sich die je *zwei* Elektronen in den *vier* Bindungen am besten zeichnen (als Strich).

**Oben links** ist der perfekte intrinsische **Si** Kristall. Alle Elektronen sitzen in den Bindungen - oder, anderes Wort für dieselbe Sache, im **Valenzband**.

In dem hier gezeigten Ortsbild ist das so: die Bindungselektronen sind die Elektronen im Valenzband. Sie sind damit nicht so recht beweglich sondern am Atom, also auf Gitterplätzen mehr oder weniger lokalisiert - aber das haben wir im Potentialtopfbild auch schon immer so gezeichnet.

Gelegentlich ist an einem Atom so viel thermische Energie konzentriert (es kommt eine hochenergetische Gitterschwingung vorbei; rote Zick-Zack Linie), dass ein Elektron aus der Bindung herausgeschlagen wird (= ins Leitungsband befördert wird).

Dort ist es jetzt *frei beweglich*, und zieht per "random walk" seines Weges. Es kann jetzt elektrischen Strom leiten.

An seinem früheren Platz ist jetzt ein **Loch**. Man kann dem Loch eine positive Ladung zuordnen, da ja jetzt eine negative Ladung fehlt und das Gebiet vorher elektrisch neutral war. Das ist *oben rechts* gezeigt.

Es ist für ein anderes Elektron in der unmittelbaren Nachbarschaft problemlos möglich in das Loch "zu springen", d. h. mit dem Loch den Platz zu wechseln.

Das Loch ist damit *frei beweglich*, und zieht per "random walk" seines Weges. Es kann jetzt elektrischen Strom leiten.

Jetzt **dotieren** wir das Silizium - unten links mit Phosphor (**P**); unten rechts mit Bor (**B**).

Wo immer nun ein Gruppe **V** Atom sitzt - und in der **Si** Praxis wird das fast immer entweder ein **P**- oder ein **As**-Atom sein - gibt es aus Bindungssicht ein Elektron *zuviel*. Dieses überzählige Elektron ist deshalb nur noch locker an das Dotieratom gebunden.

Falls wir dieses Elektron ablösen wollen, braucht es nur recht wenig thermische Energie. Dann ist es im Leitungsband, *frei beweglich*, und zieht per "random walk" seines Weges. Es kann jetzt elektrischen Strom leiten.

Es kann *nur* im Leitungsband sein, denn nur dort gibt es überhaupt freie Plätze für Elektronen - und ein Elektron ist ein Elektron - der Kristall weiß nicht, wem es mal "gehörte".

Zurück bleibt ein einfach *positiv* geladenes **P<sup>+</sup>** (oder **As<sup>+</sup>** - *Ion*). Es ist absolut *ortsfest* (wir vernachlässigen Diffusion bei Raumtemperatur). *Ladungsneutralität* ist jetzt nur noch für den Gesamtkristall gewahrt; nicht mehr *lokal*.

Wo immer nun ein Gruppe **III** Atom sitzt - und in der **Si** Praxis wird das *immer* nur ein **B**-Atom sein - gibt es aus Bindungssicht ein Elektron zu wenig. Diese *ungesättigte Bindung* ist am Dotieratom lokalisiert.

Falls wir aber einem der Elektronen in einer benachbarten Bindung einen kleinen Stoß geben, z. B. durch ganz wenig thermische Energie, wird es auf den freien Platz in der Nachbarbindung springen können. Der freie Platz ist jetzt in der Nachbarbindung und nicht mehr am **B**-Atom.

Statt eines Bor Atoms haben wir jetzt ein negativ geladenen **B<sup>-</sup>** *Ion*; dafür hat ein **Si** Atom ein positiv geladenes Loch.

Es ist für ein anderes Elektron in der unmittelbaren Nachbarschaft problemlos möglich in das Loch "zu springen", d. h. mit dem Loch den Platz zu wechseln. Das Loch ist damit *frei beweglich*, und zieht per "random walk" seines Weges. Es kann jetzt elektrischen Strom leiten.