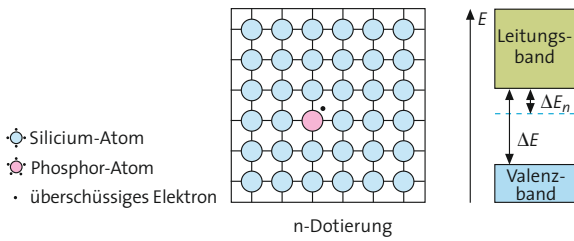


Anorganische Halbleiter für Licht und Farben



B1 n-Dotierung von Silicium und Einfluss der Dotierung auf die Lage von Valenzband und Leitungsband bzw. auf die Bandlücke bei Halbleitern. **A:** Erklären Sie, welchen Einfluss die Dotierung von Silicium auf die Lage des absorbierten Lichts hat.

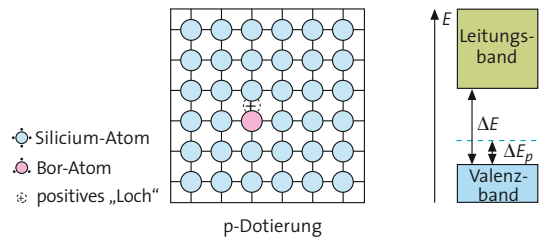
Dotierung von Silicium

Silicium ist der bekannteste unter den anorganischen Halbleitern. Als solcher leitet Silicium wie die Metalle den Strom, ohne stofflichen Veränderungen zu unterliegen. Die elektrische Leitfähigkeit ist bei Raumtemperatur allerdings sehr gering, nimmt aber im Gegensatz zu den Metallen bei Energiezufuhr zu (vgl. S. 80). Am häufigsten wird Silicium derzeit für Computer-Chips und Solarzellen verwendet.

Die Bandlücke (vgl. S. 80) von Silicium ist mit $\Delta E = 1,1 \text{ eV}$ relativ groß. Sie kann durch **Dotierung** verkleinert werden. Unter Dotierung versteht man das Zufügen von Atomen eines Elements aus der III. oder aus der V. Hauptgruppe des Periodensystems in einem Anteil von ca. 30 ppb (parts per billion, also 30 Fremd-Atome pro Milliarde Silicium-Atome).

Dotiert man z. B. mit Phosphor-Atomen, liegt im Atomgitter ein Überschuss an Elektronen vor, da nur vier der fünf Valenzelektronen eines jeden Phosphor-Atoms zur Ausbildung von Elektronenpaarbindungen benötigt werden. Die überschüssigen Elektronen erhöhen die Leitfähigkeit des Silicium-Kristalls, da sie durch geringste Energiezufuhr (ΔE_n in B1) in das Leitungsband gehoben werden können. Da die Leitung durch elektrisch negative Ladung erfolgt, spricht man von einem **n-dotierten Halbleiter**.

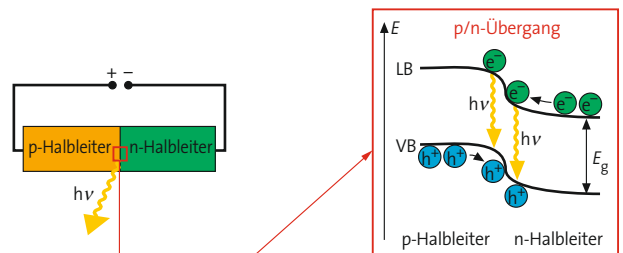
Wenn man dagegen mit Bor dotiert, so wird durch jedes Bor-Atom eine Elektronenfehlstelle erzeugt, ein



B2 p-Dotierung von Silicium und Einfluss auf die Lage von Valenzband und Leitungsband bzw. auf die Bandlücke bei Halbleitern.

A: Erklären Sie, warum es nur bei der p-Dotierung zur Bildung eines positiven „Lochs“ kommt.

sogenanntes Loch h^+ . Dieses Loch kann durch ein Valenzelektron eines benachbarten Silicium-Atoms aufgefüllt werden, wodurch nun in diesem ein Loch entsteht (vgl. den auf S. 80 beschriebenen „hopping“-Prozess). Elektrische Ladung wird hier in Form von positiven Löchern transportiert, man spricht von einem **p-dotierten Halbleiter**. Im Energiebändermodell entspricht dies einem Absinken der unteren Kante des Leitungsbands, so dass durch geringe Energiezufuhr (ΔE_p in B2) Leitfähigkeit erzeugt wird.



B3 Polung einer LED und Modelldarstellung der Vorgänge am p/n-Übergang

Auch III/V-Halbleiter lassen sich ähnlich wie Silicium dotieren. Bei der Herstellung von LEDs durch organometallische Gasphasen-Epitaxie¹ baut man Schichten aus p- und n-dotierten III/V-Halbleitern auf.

Die einfachste Variante einer LED besteht aus einem kleinen Halbleiter-Sandwich aus einer p-dotierten Schicht und einer n-dotierten Schicht. Ihre Kontaktfläche wird als **p/n-Übergang** bezeichnet (B3).

¹ Epitaxie (griech. epi- – auf, taxis – das Ordnen). Das geordnete Aufwachsen einer Substanz auf einer einkristallinen Unterlage, dem Substrat. (Vgl. Chemie 2000+ Online zur Herstellung von LEDs.)

Anorganische Halbleiter für Licht und Farben

Der p/n-Übergang ist eine ladungsverarmte Zone, die durch Rekombination von lokalen Elektronen und Löchern entsteht und auf der Differenz der elektrochemischen Potenziale beider Halbleiter-Materialien beruht.

Um die LEDs an die Spannungsquelle in Durchlassrichtung anzuschließen, wird die n-dotierte Seite mit dem Minuspol und die p-dotierte Seite mit dem Pluspol verbunden. Die Elektronen aus der n-Schicht und die Löcher aus der p-Schicht können sich dann aufeinander zu bewegen und unter Emission von Licht rekombinieren (B3).

Zur Geschichte der LEDs

Bereits im Jahr 1907 wurde das Phänomen der Elektrolumineszenz bei einem anorganischen Festkörper entdeckt (B4). Die Emission zeigte sich also als „kaltes“ Licht bei ausbleibender Erwärmung des Kristalls. Knapp 30 Jahre später entdeckte G. DESTRIAU einen ähnlichen Leuchteffekt an Zinksulfid, einem II/VI-Halbleiter. Die Emission konnte jedoch erst 1951 erklärt werden, nachdem ein mit der Entdeckung und Entwicklung des Transistors eingeleiteter wissenschaftlicher Fortschritt in der Halbleiterphysik stattgefunden hatte. Erst jetzt setzte eine genauere Erforschung des von DESTRIAU beobachteten Effekts ein. Der Erfolg mit Zinksulfid blieb aus, aber nachdem man Anfang der 1950er Jahre die III/V-Verbindungen als Halbleiter erkannt hatte, kam der erhoffte Durchbruch für die Anwendung.

Die ersten kommerziellen LEDs wurden schon Anfang der 1960er Jahre eingeführt. Sie bestanden aus **GaAsP** und leuchteten rot. Seither setzte auf dem Gebiet der LEDs eine rasante Entwicklung ein (B5). Heute kann man in allen Farben leuchtende LEDs mit hoher Strahlungseffizienz kaufen.

A Note on Carborundum. ----

To the Editors of Electrical World:

Sirs: – During an investigation of the unsymmetrical passage of current through a contact of carborundum and other substances a curious phenomenon was noted. On applying a potential of 10 volts between two points on a crystal of carborundum, the crystal gave out a yellowish light. Only one or two specimens could be found which gave a bright glow on such a low voltage (...)

The writer would be glad of references to any published account of an investigation of this or any allied phenomena.

NEW YORK, N.Y. – H.J. ROUNDS

B4 H.J. ROUNDS Veröffentlichung eines „seltsamen Phänomens“, der ersten Beobachtung von Elektrolumineszenz bei einem Siliciumcarbid-Kristall **SiC**

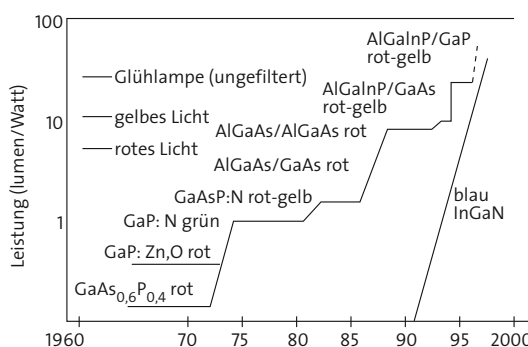
Aufgaben

A1 Informieren Sie sich unter *Chemie 2000+ Online* anhand der Animation zum photovoltaischen Effekt über die Vorgänge am p/n-Übergang. Vergleichen Sie die Abläufe bei Bestrahlung eines Halbleiters und bei Anlegen einer Spannung.

A2 Halbleiter der Zusammensetzung **GaAs_xP_{1-x}** haben je nachdem, welchen Wert x zwischen 0 und 1 annimmt, Bandlücken zwischen 1,4 eV und 2,3 eV.

Halbleiter	GaP	GaAs	GaSb	AlAs
Bandlücke E_g	2,3 eV	1,4 eV	0,7 eV	2,1 eV

Ermitteln Sie, welchen Farbbereich des sichtbaren Spektrums man durch LEDs der Zusammensetzung **GaAs_xP_{1-x}** abdecken kann. (Hinweis: $\lambda = 1240/E_g$)



B5 Beginn der kommerziellen Nutzung einiger anorganischer LEDs