

I. Halbleiter und Bauelemente

I.1 Halbleiter Materialien

Halbleiter Bauelemente dominieren heute in der Elektronik und haben z.B. die Röhre fast völlig verdrängt. Nur höchste Leistungen und Frequenzen sowie Bildröhren werden heute noch durch Röhren bedient. Trotzdem zeichnen sich Entwicklungen ab, wie IC's nach dem Röhrenprinzip mit Feldemissions-Kathoden.

Halbleiter stehen elektrisch zwischen den Isolatoren und Leitern. Chemisch reinen Halbleitern ist gemeinsam, daß sie bei tiefen Temperaturen isolieren und von einer bestimmten Temperatur an eine rasch anwachsende Leitfähigkeit zeigen. Diese intrinsische oder Eigenleitfähigkeit stört den Einsatz bei hohen Temperaturen.

Es gibt eine ganze Reihe halbleitender Materialien. Man unterscheidet zuerst Element- und Verbindungshalbleiter. Letztere werden weiter unterteilt nach den Hauptgruppen der beteiligten Elemente im Periodensystem, z.B. III-V, II-VI und IV-IV Halbleiter. Zusätzlich kann man noch die Zahl der Verbindungspartner angeben: Binär (2), ternär (3) und quaternär (4). In ternären und quaternären Verbindungen müssen sich die Anzahlen der Atome aus den verschiedenen Hauptgruppen natürlich entsprechen. So hat Galliumarsenidphosphid GaAsP die variable Zusammensetzung $\text{GaAs}(x)\text{P}(1-x)$, wobei x zwischen 0 und 1 liegt. Entsprechend lautet die Formel beim

Galliumindiumarsenidphosphid:

$\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ mit x und y jeweils zwischen 0 und 1.

I.2 Dotierung

Von größter Bedeutung für alle Halbleiter-Bauelemente ist die Möglichkeit, die Leitfähigkeit durch Beimischen winziger Mengen anderer Elemente zu beeinflussen. Diese "Dotierung" erzeugt je nach Dotierelement im Halbleiter positive oder negative freibewegliche Ladungsträger. Positive Ladungsträger sind Elektronenlöcher (Defektelektronen) und führen zu p-leitendem Halbleiter. Negative Ladungsträger sind Elektronen, die n-Leitung verursachen. P-dotierend wirken Elemente aus einer niedrigeren Hauptgruppe des Periodensystems, n-dotierend dagegen Elemente aus einer höheren Hauptgruppe. So wird Silizium (IV) durch Ga(III) p-dotiert und durch As (V) n-dotiert. Ein bereits dotierten Halbleiter kann in den anderen Leitfähigkeitstyp umdotiert werden. Der wirkungsmäßig überwiegende Dotierstoff entscheidet über p- oder n-Leitfähigkeit. Eine wichtige Tatsache besteht darin, daß in einem dotierten Halbleiter neben den verursachenden Ladungsträgern (Majoritätsträger) immer auch eine geringe Zahl von Ladungsträgern des jeweils anderen Leitungstyps vorhanden ist (Minoritätsträger). Das Produkt der beiden ist eine Materialkonstante.

Beispiele für verwendete Halbleiter und typische Anwendungen sind:

Element-Halbleiter:

Si, Ge: Die "klassischen" Halbleiter

Se: Fotoelemente

C: (Diamant) in Entwicklung

Einige Verbindungs-Halbleiter:

III-V Verbindungen:

GaAs: Feldeffekt Transistoren, schnelle IC's, Optoelektronik

InSb, InAs: Feldplatten und Hallgeneratoren

GaAsP, GaAlAs, GaInAsP: LED's, Laserdioden, Infrarot Detektoren

II-VI Verbindungen:

ZnS: Leuchtstoffe, Farbe je nach Dotation

CdS, CdSe: Fotowiderstände

HgCdTe: Infrarot-Detektoren

IV-IV Verbindungen:

SiC: Leistungsbaulemente, blaue Leuchtdioden

SiGe: Höchsthfrequenz-Bauelemente

I.3 Eigenschaften von Halbleitern

Die Vielzahl der verwendeten Halbleiter Materialien zeigt schon, daß für bestimmte Bauelemente Halbleiter mit passenden Eigenschaften benötigt werden. So kann man aus Silizium keine Leuchtdioden herstellen und aus GaAs keine bipolaren Transistoren (siehe I.3). Die wichtigsten Eigenschaften eines Halbleiters sind:

Der Bandabstand:

Der Bandabstand entspricht der erforderlichen Energie zur Erzeugung eines Elektron-Loch Paares. Er beeinflusst die Flußspannung einer Diode und die Farbe des Lichts einer Leuchtdiode. Je größer er ist, desto höher ist die mögliche Betriebstemperatur.

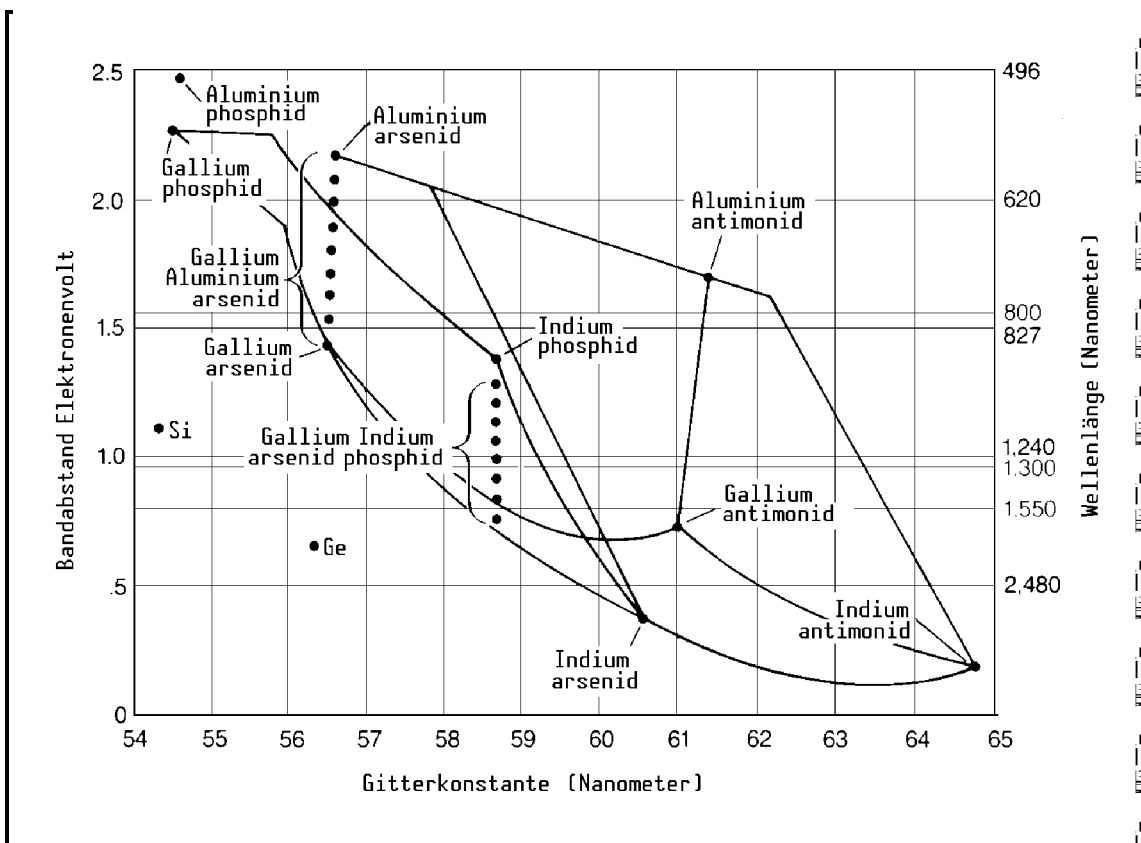


Abb. 1-1: Gitterkonstante und Bandabstand

Die Gitterkonstante:

Das ist der Abstand zwischen gleichen Atomanordnungen im Halbleiterkristall. Sie muß bei Schichtenfolgen ungleicher Halbleiter möglichst genau übereinstimmen. Moderne optoelektronische Bauelemente werden aus Schichtenfolgen von Halbleitern verschiedenen Bandabstands aber gleicher Gitterkonstante aufgebaut. Mangels passender Halbleiter in der Natur setzt man ternäre und quaternäre III-V Verbindungshalbleiter ein, die man durch Wahl der Zusammensetzung für ein Bauelement maßschneidern kann. Man sieht in Bild 1.1 Bandabstand und Gitterkonstante verschiedener Verbindungshalbleiter. Beim GaAlAs und dem GaInAsP ändert sich in Abhängigkeit von der Zusammensetzung wohl der Bandabstand, nicht aber die Gitterkonstante. Damit kann man Schichten dieser Verbindungen aufeinander aufwachsen lassen. Der Bereich dieser Verbindungen ist in Abb. 1-1 punktiert.

Die Ladungsträgerbeweglichkeit

Eine hohe Beweglichkeit der Ladungsträger ist für hochfrequente und galvanomagnetische (Feldplatten und Hallgeneratoren) Bauelemente wichtig. Der Strom wird dann (z.B. InSb, GaAs) von sehr wenigen, schnell bewegten Ladungsträgern getragen, bei geringer Beweglichkeit (z.B. Si) von sehr vielen, relativ langsam bewegten Ladungsträgern.

I.4 Halbleiter Bauelemente

Halbleiter Bauelemente lassen sich in bipolare und monopolare Bauelemente einteilen. In bipolaren Bauelementen fließt der Strom durch Gebiete beiderlei Dotierung, durchquert also auch pn-Übergänge, während bei den monopolaren MOS-Bauelementen der Strom nur in n- oder p-dotiertem Halbleiter fließt.

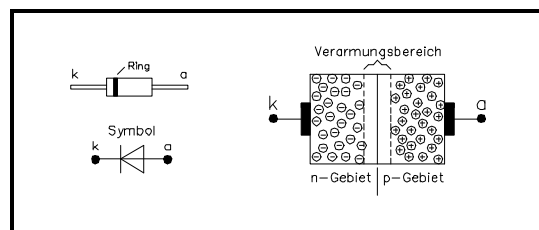
a) Dioden

Abb. 1-2: pn-Übergang und Diode

Das einfachste bipolare Bauelement ist die Diode, deren Funktion auf einem pn-Übergang beruht. Am pn-Übergang grenzen p- und n-dotierter Halbleiter aneinander. Ist der n-Bereich (Kathode) positiv gegenüber dem p-Bereich (Anode), so werden in beiden Bereichen die Ladungsträger vom pn-Übergang weggezogen (verschiedene Vorzeichen) und es entsteht um den pn-Übergang herum ein Gebiet ohne Ladungsträger, der Verarmungsbereich. Mangels Ladungsträgern ist dieser hochohmig und es fließt kein Strom - die Diode sperrt.

Bei umgekehrter Polung der Diode werden von beiden Bereichen her die Ladungsträger zum pn-Übergang und weiter ins Gebiet des anderen Leitfähigkeitstyps gezogen. Dort rekombinieren Elektronen und Elektronenlöcher beim Aufeinandertreffen. Bild-