
Anhang C

Leitungstypbestimmung über Seebeck-Effekt

Der Wärmestrom in einem leitenden Material wird von Ladungsträgern geführt. Ein Temperaturgradient treibt die Ladungsträger in Richtung $-\nabla T$, weil an der Stelle höherer Temperatur eine größere Trägerdichte mit höherer thermischer Geschwindigkeit vorliegt. Es baut sich ein inneres elektrisches Raumladungsfeld \mathbf{E} auf, das den Ladungsträgerfluss an jeder Stelle genau kompensiert. Die Potentialdifferenz zwischen Anfang und Ende des Leiterstücks, die Thermourspannung (thermoelektrische Kraft), beruht auf zwei Ursachen, die wiederum voneinander abhängen,

1. dem Konzentrationsgefälle der Ladungsträger (Ladungsdiffusionsstrom) und
2. der Änderung der kinetischen Energie der Träger infolge des Temperaturunterschiedes (Thermodiffusionsstrom).

Ist ein leitendes Material an seinen beiden Enden mit einem Metall in elektrischem Kontakt, ohne dass sich ein geschlossener Leiterkreis bildet, und erzeugt man einen Temperaturunterschied $\Delta T = T_2 - T_1$ zwischen den beiden Kontaktstellen, tritt eine Potentialdifferenz ΔU zwischen den Kontaktstellen auf. Die Erscheinung wird Seebeck-Effekt genannt, die Spannung Thermospannung. In dieser Anordnung trägt noch ein dritter Faktor zur Spannungserzeugung bei, nämlich die Änderung des Fermineaus vom heißen zum kalten Kontakt.

Es gilt $\Delta U = (\alpha_a - \alpha_b) \cdot \Delta T$, mit α_a und α_b den sogenannten Seebeck-Koeffizienten beider Materialien. In sie gehen die drei erzeugenden Faktoren ein, die Temperatur T , der Abstand von Leitungsbandkante und Fermineau $E_F - E_c$, die Art der Ladungsträgerstreuung, die im Parameter r ausgedrückt wird, siehe Tabelle C.1.

Streuung an		r
optischen Phononen	unterhalb der Debye-Temperatur	0
	oberhalb der Debye-Temperatur	$+\frac{1}{2}$
akustischen Phononen		$-\frac{1}{2}$
ionisierten Störstellen		$+\frac{3}{2}$

Tabelle C.1: Größe des von der Art der Ladungsträgerstreuung abhängigen Parameters r

Es ist

$$\alpha_n = -\frac{k}{e} \left(r + \frac{3}{2} \right) \frac{\pi^2}{3} \frac{kT}{E_F - E_c}$$

für ein entartetes Elektronengas und

$$\alpha_n = -\frac{k}{e} \left(r + \frac{5}{2} - \frac{E_F - E_c}{kT} \right)$$

für einen nichtentarteten n-Halbleiter. Der Leitungstyp eines Halbleiters bestimmt das Vorzeichen von α : Bei einem n-Halbleiter ist α_n negativ, bei einem p-Halbleiter ist α_n positiv. Die Polarität der Seebeck-Spannung gibt darum Auskunft über den Leitungstyp eines Halbleiters. Zur näheren Erläuterung siehe z.B. [Pau74].

Auf die auf einer kalten Metallplatte liegende Halbleiterprobe wird eine warme Metallspitze aufgesetzt. Beim n-Halbleiter tritt an der warmen Spitze eine positive Spannung gegenüber der kalten Unterlage auf, beim p-Halbleiter eine negative [AMR90]. Die Funktionsweise wurde an n- und p-dotiertem Ge überprüft und anschließend für die Leitungstypbestimmung der CdTe-Proben angewandt.