

Inversionsschichten in Silicium an der Grenze zu einem Elektrolyten¹

Von H.-U. HARTEN

Philips-Zentrallaboratorium Hamburg

(Z. Naturforschg. 16 a, 1401 [1961]; eingegangen am 30. November 1961)

Unter der Oberfläche eines Halbleiters befindet sich normalerweise eine Raumladungsrandschicht; sie wird charakterisiert durch die *Bandaufwölbung* bzw. das *Oberflächenpotential* φ_s ($e\varphi_s$ ist definiert als der Abstand der FERMI-Energie von der Mitte der verbotenen Zone an der Oberfläche des Halbleiters). Es ist üblich, zur Bestimmung von φ_s die Oberflächenleitfähigkeit ΔG zu messen, die man aus dem Leitwert der untersuchten Probe parallel zu ihrer Oberfläche erhält. ΔG ist hoch bei einer Anreicherungsrandschicht (hohe Majoritätskonzentration), nimmt ab im Verarmungsgebiet und steigt wieder an, wenn sich eine Inversionsschicht mit hoher Konzentration der Minoritätsträger ausbildet. Der genaue Zusammenhang zwischen ΔG und φ_s ist im Prinzip bekannt².

Wie frühere Untersuchungen gezeigt haben³, kann man bei Silicium die Oberflächenleitung auch dann messen, wenn sich die Probe in einem Elektrolyten befindet. Bei diesen Versuchen war das Oberflächenpotential durch eine von außen zwischen Silicium und Elektrolyt angelegte Spannung variiert worden. Infolgedessen floß ein Strom senkrecht zur Oberfläche, der unter Umständen das thermodynamische Gleichgewicht der Trägerkonzentrationen in der Randschicht störte. Bei hinreichend hoher Belastung in *Sperrichtung* verhielt sich die Randschicht im allgemeinen ebenso wie die Sperrschicht eines p-n-Überganges: Sie verarmte sowohl an Elektronen wie auch an Löchern. Daher bildete sich keine Inversionsschicht aus und die Oberflächenleitung zeigte darum auch kein Minimum.

Um eine Inversionsschicht beobachten zu können, muß man demnach das Oberflächenpotential variieren, ohne einen Brutto-Strom senkrecht zur Oberfläche hervorzurufen. Das läßt sich durch eine Änderung der Zusammensetzung des Elektrolyten erreichen, die das GALVANI-Potential an der Elektrode beeinflusst.

Abb. 1 zeigt das Ergebnis entsprechender Messungen an einer n-leitenden und einer p-leitenden Silicium-Probe. (Die experimentelle Anordnung entspricht weitgehend der früherer Versuche³.) Als Elektrolyt dienten Lösungen von Cer(IV)ammoniumsulfat in 1-n. H_2SO_4 , und zwar in molaren Konzentrationen zwischen 10^{-2} und $3 \cdot 10^{-5}$. Die Meßpunkte der Oberflächenleitung sind auf die Spannung U_K bezogen, die zwischen einem sperrfreien Kontakt am Silicium und einer Kalomel-Elektrode im Elektrolyten auftrat. Sie lassen deutlich das erwartete Minimum der Oberflächenleitung erkennen. Die ausgezogenen Kurven sind für das verwendete Silicium berechnet und beziehen sich auf das Oberflächenpotential als φ_s . Die Skalen für U_K und φ_s haben gleichen Maßstab, sind aber gegeneinander ver-

schoben. Da sich die Meßpunkte gut an die berechneten Kurven anpassen, müssen sich U_K und φ_s jeweils um den gleichen Betrag geändert haben. Bei den vorliegenden Messungen sind also alle Änderungen der GALVANI-Spannung zwischen Silicium und Elektrolyt nur auf Änderungen der Raumladungsrandschicht im Silicium zurückzuführen.

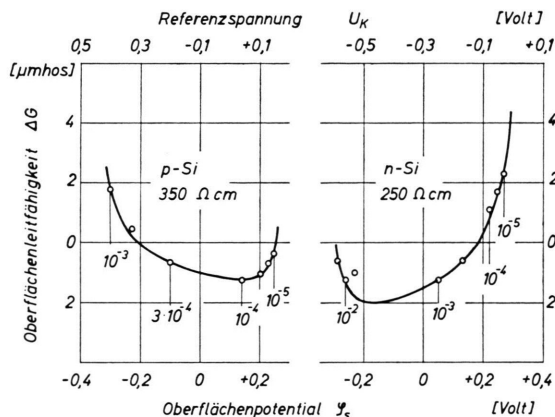


Abb. 1. Oberflächenleitfähigkeit ΔG von zwei Si-Proben in Abhängigkeit von der Referenzspannung U_K der Kalomel-Elektrode (Meßpunkte) und dem Oberflächenpotential φ_s (berechnete Kurve). Elektrolyt: Cer(IV)ammoniumsulfat in 1-n. H_2SO_4 ; die Zahlen an den Meßpunkten bezeichnen die molare Konzentration des Sulfats.

Durch die verwendeten Elektrolyte wurde nicht immer der in der Abbildung gezeigte Bereich des Oberflächenpotentials überdeckt. Blieb die Probe längere Zeit in einer der Lösungen stehen, so verschoben sich φ_s und U_K irreversibel. Wechsel der Elektrolyten hatte dann zwar wieder reversible Änderungen beider Größen zur Folge, der einfache Zusammenhang zwischen ihnen blieb jedoch nicht immer erhalten. Aus diesem Grunde wurden die Proben vor jeder Meßreihe geätzt ($HF + HNO_3 + H_2O$).

Bei p-Silicium trat die Inversion immer auf, wenn das Oberflächenpotential in den entsprechenden Bereich gebracht werden konnte. Bei n-Silicium ließ sich das Minimum der Oberflächenleitung jedoch oft nur dann sicher beobachten, wenn die Oberfläche wenigstens an einer Stelle mechanisch beschädigt worden war. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die potentialbestimmende Reaktion Löcher verbraucht, die u. U. nur dann in genügender Zahl verfügbar sind, wenn zumindest in einem begrenzten Gebiet hohe Oberflächenrekombinationen und damit -generation herrscht.

Untersuchungen dieser Art wurden angeregt durch Herrn Dr. H. J. G. VINK, bei der Auswahl der Elektrolyten beriet Herr Dr. F. W. DORN. Die experimentellen Arbeiten führte in zahlreichen Vorversuchen Frl. I. MOSER, bei den abschließenden Messungen Frl. G. BRAUER durch. Ich danke allen herzlich.

¹ Teilweise vorgetragen auf der Physikertagung in Bad Pyrmont; Phys. Verh. 1961, 27.

² V. O. MOWERY, J. Appl. Phys. 29, 1753 [1958].

³ H. U. HARTEN, Z. Naturforschg. 16 a, 459 [1961].

