

Zum Einfluß des mechanischen Druckes auf Silicium-pn-Übergänge

P. LOHSE

Zentral-Laboratorium für Nachrichtentechnik
der Siemens & Halske AG, München

(Z. Naturforsch. **20 a**, 976–977 [1965]; eingegangen am 15. Juni 1965)

Durch mechanischen Druck können die Kennlinien von pn-Übergängen stark beeinflußt werden¹. Der notwendige, sehr hohe Druck wird meist – wie auch in der vorliegenden Arbeit – mit Hilfe einer harten Spalte (Saphir) erzeugt. Während das Verhalten von Germaniumdioden weitgehend geklärt werden konnte², besteht bei Siliciumdioden noch Unklarheit über eine Deutung der von RINDNER und BRAUN¹ beobachteten Eigenschaften. Die hier mitgeteilten Meßergebnisse an Silicium-pn-Übergängen unterscheiden sich wesentlich von den RINDNERSchen Messungen.

Die Saphirspalte (Krümmungsradius 15 μm) wurde direkt mit einem sehr weichen dynamischen Schwing- system gekoppelt (Gesamtsteifigkeit der Haltefedern etwa $3 \cdot 10^6 \text{ dyn/cm}$). Durch Variation des Gleichstromes durch die Schwingspule konnte die Kraft F auf die Spalte kontinuierlich geändert werden. Die Unsicherheit des Drucknullpunktes betrug etwa 100 dyn.

Die im Normalfall beobachteten Strom-Spannungs- Kennlinien einer frisch hergestellten Siliciumdiode mit

der auf die Spalte wirkenden Kraft F als Parameter sind in Abb. 1, Kurvenschar a, dargestellt (Tiefe des pn-Überganges unter der Oberfläche etwa 0,1 μm ; spezifischer Widerstand des n-leitenden Grundmaterials 0,1 $\Omega \text{ cm}$; [111]-Richtung senkrecht zur Oberfläche; Herstellung der Diode durch Planar-Diffusionstechnik). Bei einer Sperrspannung von 1 Volt wurde an verschiedenen Punkten des ebenen pn-Überganges einer anderen, sehr druckempfindlichen Diode die in Abb. 2 aufgetragene Abhängigkeit des Stromes von der Kraft F gemessen.

Die Kurvenschar b in Abb. 1 ergab sich an derselben Diode nach einem kleinen Stoß auf die Spalte, wobei dann der Strom für $F=0$ um Größenordnungen anstieg. Solch relativ große Ströme wie in Fall b können auch unter besonderen Bedingungen auftreten³, ohne daß der Strom bei $F=0$ wesentlich geändert wird. Die von RINDNER und BRAUN beobachteten Ströme⁴ besitzen die Größenordnung und auch die Spannungsabhängigkeit ähnlich wie bei der Kurvenschar b.

An den im Normalfall beobachteten Kennlinien im Sperrbereich fällt besonders das Sättigungsverhalten des Stromes bei kleinen Spannungen und nicht zu kleinen Kräften auf (der steile Anstieg bei größeren Spannungen dürfte auf dem ZENER-Effekt beruhen). Dieser Verlauf legt es nahe, die Kennlinien in diesem Bereich nach dem Diffusionsstrommodell von SHOCKLEY⁵ zu deuten. Eine Abschätzung nach diesem Modell ergibt Über-

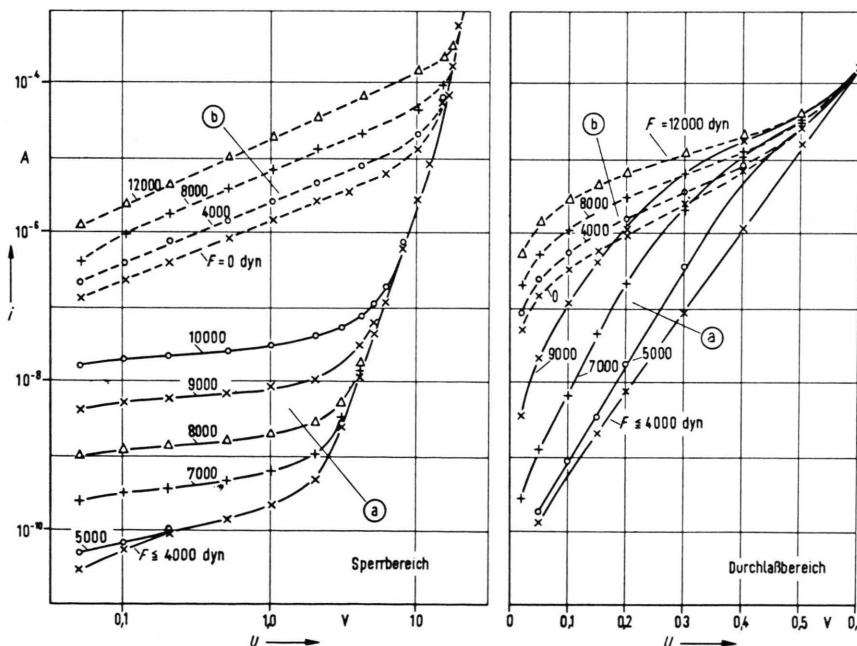


Abb. 1. Der Strom i in Abhängigkeit von der Spannung U mit der Kraft F auf die Saphirspalte als Parameter.
a) Normalfall, b) nach einem kleinen Stoß auf die Saphirspalte.

¹ Vgl. z. B. W. RINDNER u. I. BRAUN, J. Appl. Phys. **34**, 1958 [1963]. — R. EDWARDS, IEEE Trans. **11**, 286 [1964]. — W. TOUCHY, Z. Angew. Phys. **16**, 430 [1964].

² J. J. WORTMAN, J. R. HAUSER u. R. M. BURGER, J. Appl. Phys. **35**, 2122 [1964].

³ H. N. TOUSSAINT u. F. KRIEGER, erscheint demnächst in IEEE Trans.

⁴ Vgl. Ann. ¹, Abb. 6.

⁵ W. SHOCKLEY, Bell Syst. Tech. J. **24**, 435 [1949]; vgl. auch E. SPENKE, Elektronische Halbleiter, Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956.



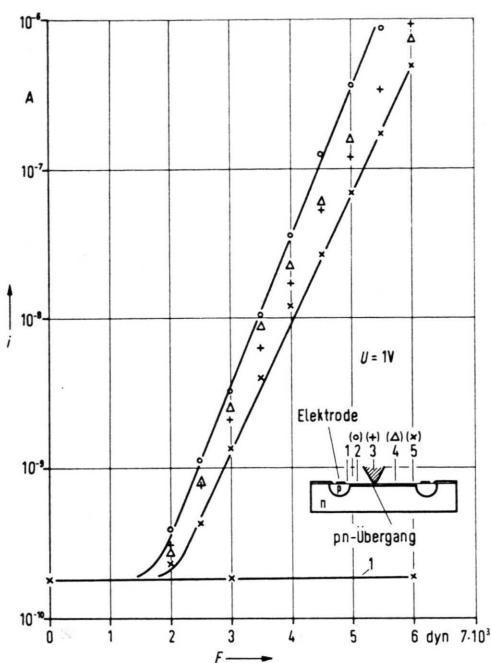


Abb. 2. Der Strom i in Abhängigkeit von der Kraft F auf die Saphirspitze bei einer Sperrspannung von 1 V, gemessen an verschiedenen Punkten einer sehr druckempfindlichen Diode.

einstimmung mit dem Experiment (Abb. 2), wenn für die Abhängigkeit des Energiebandabstandes vom Maximaldruck in der pn-Schicht $dE/dp \approx 6 \cdot 10^{-12} \text{ eV cm}^2/\text{dyn}$ gesetzt wird. Die Druckabhängigkeit der anderen Diodenkenngrößen, wie z. B. Trägerlebensdauer, wurde dabei vernachlässigt. Der Druck in der pn-Schicht und die ef-

* S. FUCHS, Phys. Z. 14, 1282 [1913].

fektive Fläche (die gleich der Berührungsfläche zwischen Saphirspitze und Siliciumoberfläche gesetzt wurde) wurde nach der HERTZSchen Theorie⁶ berechnet. Der experimentelle Wert des Sättigungsstromes ist wesentlich größer, als man nach dem vereinfachten Modell erwarten würde. Vermutlich ist dieser Unterschied auf den Einfluß der sehr nahen Oberfläche zurückzuführen.

Ein Vergleich des obigen Wertes von dE/dp mit Energiebandänderungen in Silicium, die auf andere Art bestimmt wurden (optisch, Piezowiderstand), ist schwierig, da in dem durch die Spalte belasteten Silicium ein stark anisotropes mechanisches Spannungsfeld vorliegt⁶. Sehr dicht unter der Berührungsfläche herrscht nahezu hydrostatischer Druck, dagegen ergibt sich nach der HERTZSchen Theorie in etwas größerer Tiefe ein praktisch uniaxialer mechanischer Spannungszustand. Der obige Wert von dE/dp liegt zwischen den von WORTMAN u. a.² angegebenen Werten für uniaxialen und hydrostatischen Druck. Eine weitere Stütze für das Diffusionsmodell ist die nahezu gleiche Druckabhängigkeit des Diodenstromes im Durchlaßbereich bei nicht zu großen Spannungen.

Bei sehr kleinen Kräften dürfte das Stromverhalten im Sperrbereich der Siliciumdiode durch den Trägergenerations-Rekombinationsstrom bestimmt sein⁷, der jedoch wegen seiner wesentlich geringeren Druckabhängigkeit gegenüber dem Diffusionsstrom bei großen Kräften vernachlässigt werden kann. Die durch die Kurvenschar b in Abb. 1 dargestellte Abhängigkeit dürfte im wesentlichen auf dem Einfluß von Kristallversetzungen beruhen.

Die Dioden hat Herr Dr. W. TOUCHY hergestellt. Für die Hilfe bei den Experimenten danke ich Frl. H. KRAMBEER und Herrn O. BRÜNNERT. Herrn R. KARmann und Herrn F. KRIEGER danke ich für anregende Diskussionen.

⁷ C. T. SAH, R. N. NOYCE u. W. SHOCKLEY, Proc. IRE 45, 1228 [1957].

Messung der Kondensationswahrscheinlichkeiten verschiedener Gase

DIETRICH BACHNER *, WINFRIED KOELZER **
und DIETRICH MÜLLER ***

Institut für Angewandte Physik der Universität Bonn
(Z. Naturforsch. 20 a, 977—980 [1965]; eingegangen am 11. Juni 1965)

Im folgenden wird eine Apparatur beschrieben, die es gestattet, niedrige Drücke zu erreichen und eine Kaltfläche (Kondensor) auf Temperaturen bis unter 4 °K zu kühlen. Die mit dieser Apparatur gemessenen effektiven Kondensationswahrscheinlichkeiten von CO₂, N₂, H₂ und Xe werden mitgeteilt, ebenso die

Dampfdruckwerte von H₂. Eine ausführlichere Darstellung dieser Untersuchung ist in Vorbereitung¹.

Die Meßapparatur (Prinzipbild siehe Abb. 1) besteht aus einem ausheizbaren Edelstahlrezipienten, in dem sich durch Diffusionspumpen ein Enddruck von $1 \cdot 10^{-9}$ Torr erreichen läßt. Den Rezipienten kann man durch ein Ganzmetallventil vom Pumpensystem abtrennen. Der Druck wird mit einer geeichten ALPERT-Röhre (Einbaumeßsystem) gemessen. Der Einlaß definierter Gasmengen erfolgt über ein UHV-Dosierventil. Im Rezipienten ist ein Kondensor (Konstruktion ähnlich wie bei KLIPPING²) eingebaut, der durch geeignete Abschirmungen eine gut definierte Kaltfläche erhält. Die Kondensattemperatur wird mit einem Dampfdruckthermometer

*** Jetzt Physikalisches Institut der Universität Bonn.

¹ D. BACHNER, W. KOELZER u. D. MÜLLER, Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen, erscheint demnächst.

² G. KLIPPING, Kältetechnik 13, 250 [1961].

* Jetzt Institut für Strahlen- und Kernphysik der Universität Bonn.

** Jetzt Kernforschungszentrum Karlsruhe, Schule für Kerntechnik.