

Abb. 3. Emitterstrom in Abhängigkeit vom Emitterdurchmesser bei legierten Silicium-n-p-n-Transistoren mit kreisförmiger Emitterfläche.

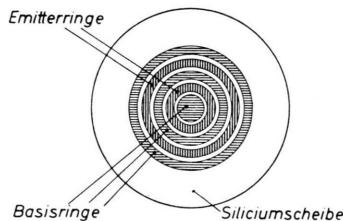


Abb. 4. Ringförmiges Basis-Emitter-Muster (schematisch).

Die Sperrfähigkeit von legierten Silicium-Leistungstransistoren

von REIMER EMEIS und ADOLF HERLET

Siemens-Schuckertwerke AG., Laboratorium Pretzfeld
(Z. Naturforsch. 12 a, 1018 [1957]; eingegangen am 6. November 1957)

Leistungstransistoren, die nach dem Legierungsverfahren hergestellt werden, haben eine n-p-n- (bzw. p-n-p-) Schichtung, bei der das Emitter- und das Kollektorgebiet sehr hoch, das dazwischenliegende Basisgebiet dagegen verhältnismäßig niedrig dotiert ist. Da man ferner durch das Legierungsverfahren praktisch abrupte p-n-Übergänge erzeugt, wird die Sperrfähigkeit derartiger Elemente bei einwandfreier Beschaffenheit ausschließlich durch die Eigenschaften des Basisgebietes,

¹ G. L. PEARSON u. B. SAWYER, Proc. Instn Radio Engrs, Aust. **40**, 1348 [1952].

² K. G. MCKAY, Phys. Rev. **94**, 877 [1954].

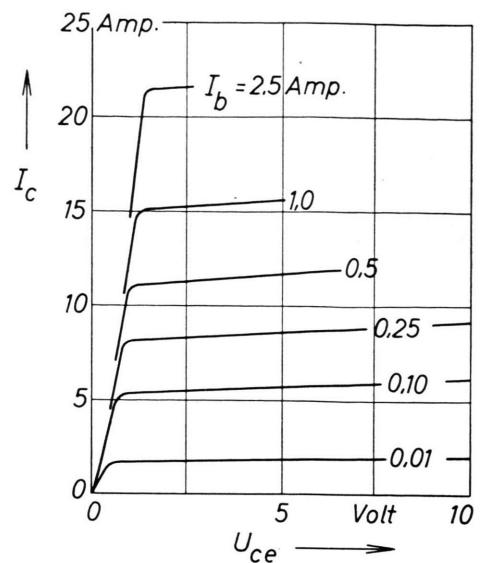


Abb. 5. Kennlinienschar eines legierten Silicium-n-p-n-Transistors.

Emitterringes zur effektiven Fläche beitragen. Die Kennlinienschar eines derartigen Silicium-Leistungstransistors mit zwei Emitterringen und einer gesamten Randlänge von 75 mm zeigt Abb. 5. Damit sind die Möglichkeiten der flächenmäßigen Ausnutzung von Scheiben von ca. 20 mm \varnothing , wie sie heute praktisch zur Verfügung stehen, allerdings noch keineswegs erschöpft.

Wir danken Herrn Dr. E. SPENKE für die mathematische Bearbeitung der Aufgabe sowie für Diskussionen und Herrn H. PATALONG, der die in Abb. 3 benutzten Versuchsmuster herstellen ließ.

und zwar vornehmlich durch dessen spezifischen Widerstand ϱ bestimmt.

Zunächst ist genau wie beim Gleichrichter die Sperrfähigkeit dadurch begrenzt, daß bei einer Grenzsperrspannung U_b die Feldstärke im (kollektorseitigen) p-n-Übergang einen kritischen Wert erreicht, so daß durch Lawinenbildung der Stromträger infolge Stoßionisation der Sperrstrom abrupt ansteigt ^{1, 2, 3, 4}. Die durch diesen Effekt bedingte maximal erreichbare Sperrspannung U_b wächst mit wachsendem spezifischem Widerstand des Basisgebietes (Kurve 1 in Abb. 1). Dieser Zusammenhang zwischen U_b und ϱ ist am Gleichrichter quantitativ untersucht ^{2, 3, 4}.

Darüber hinaus tritt jedoch beim Transistor noch eine weitere Begrenzung der Sperrfähigkeit auf. Wenn nämlich die vom Kollektor ausgehende Raumladungs-

³ A. HERLET u. H. PATALONG, Z. Naturforsch. **10 a**, 584 [1955].

⁴ L. S. MILLER, Phys. Rev. **105**, 1246 [1957].



zone mit steigender Spannung in das Basisgebiet hineinwächst und schließlich bis in den emitterseitigen p-n-Ubergang „durchstößt“, tritt ebenfalls ein Steilanstieg des Sperrstromes ein^{5,6}. Die durch diesen „punch-through-Effekt“ gegebene Grenzspannung U_p sinkt mit wachsendem ϱ -Wert des Basisgebietes und ist außerdem von der Dicke W des Basisgebietes abhängig (Kurven 2 in Abb. 1).

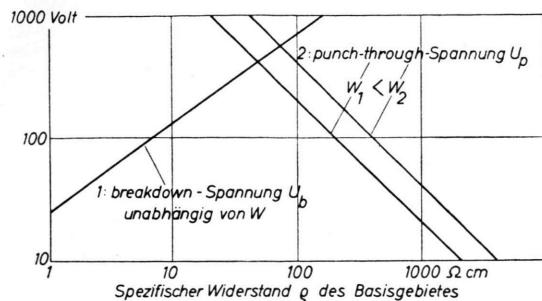


Abb. 1. Begrenzung der Sperrfähigkeit von Transistoren (schematische Darstellung).

Die in der schematischen Übersicht der Abb. 1 wiedergegebene Situation wurde in einer größeren Veruchsreihe quantitativ untersucht (Abb. 2). Es wurden dazu 2 Serien von n-p-n-Transistoren mit einer Basisdicke von ca. 40μ und ca. 55μ hergestellt; der spezifische Widerstand des Ausgangssiliciums wurde dabei von etwa $2 \Omega \text{ cm}$ bis $2000 \Omega \text{ cm}$ variiert. Für jeden eingetragenen Wert wurde eine Gruppe von etwa 10 Transistoren hergestellt. Die vertikale Balkenlänge gibt die Streuung der Sperrspannung innerhalb der einzelnen Gruppe an (z. B. $U_b = 355, 330, 320, 340, 360 \text{ V}$ für die Gruppe bei $17 \Omega \text{ cm}$).

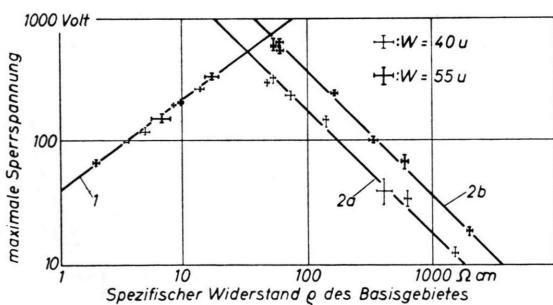


Abb. 2. Maximale Sperrspannung von legierten Silicium-n-p-n-Transistoren (20°C);

\pm : Streubereiche der experimentellen Werte.

Kurven:

$$1: U_b/\text{Volt} = 40(\varrho/\Omega\text{cm})^{3/4},$$

$$2a: U_p = \frac{1}{2} W^2 / \varepsilon \varepsilon_0 \mu_p \varrho \quad \text{für } W = 40 \mu \quad \left(\text{mit } \varepsilon = 12; \right)$$

$$2b: U_p = \frac{1}{2} W^2 / \varepsilon \varepsilon_0 \mu_p \varrho \quad \text{für } W = 55 \mu \quad \left(\mu_p = 450 \frac{\text{Volt sec}}{\text{cm}^2} \right)$$

⁵ W. SHOCKLEY u. R. C. PRIM, Phys. Rev. **90**, 753 [1953].

⁶ G. C. DACEY, Phys. Rev. **90**, 759 [1953].

Der Verlauf der beiden $U_p(\varrho)$ -Kurven stimmt sehr gut mit dem theoretisch geforderten Verlauf

$$U_p = \frac{1}{2} \frac{W^2}{\varepsilon \varepsilon_0 \mu_p \varrho} \quad (1)$$

überein, der in Abb. 2 für die Basisdicken $W = 40 \mu$ und $W = 55 \mu$ als Linien 2a und 2b eingezeichnet ist. Die $U_b(\varrho)$ -Kurve ist erwartungsgemäß von der Basisdicke unabhängig. Die eingezeichnete Linie 1 in Abb. 2 wird analytisch durch

$$\frac{U_b}{\text{Volt}} = 40 \left(\frac{\varrho}{\Omega \text{ cm}} \right)^{3/4} \quad (2)$$

wiedergegeben. Dieser empirische Zusammenhang stimmt quantitativ mit den von MILLER gemessenen Werten überein, liegt also wie diese um den Faktor 1,75 höher als die Werte von HERLET-PATALONG. Eine Deutung dieser Abweichung ist vorläufig nicht möglich.

Die Durchlaßkennlinie von legierten Flächengleichrichtern ist bekanntlich von dem ϱ -Wert des hochohmigen Mittelgebietes unabhängig³. Analog sollten die Kennlinieneigenschaften des „geöffneten“ Transistors, d. h. bei kleinen Kollektorspannungen und großen Kollektorströmen vom ϱ -Wert des Basisgebietes unabhängig sein. Dies ist in der Tat auch weitgehend der Fall (Abb. 3). Soweit Kennlinienunterschiede auftreten, sind sie im wesentlichen nur mittelbar, so z. B. über Oberflächeneffekte, mit dem ϱ -Wert des Basisgebietes verknüpft.

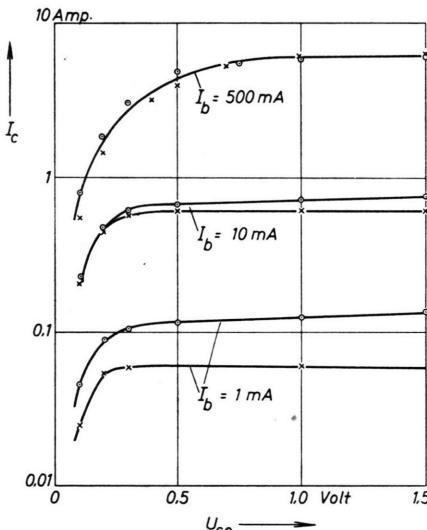


Abb. 3. Kennlinienschar in Emitter-Schaltung (20°C).

\odot : $\varrho = 1500 \Omega \text{ cm}$, $W = 40 \mu$,
 \times : $\varrho = 9 \Omega \text{ cm}$, $W = 40 \mu$.

Wir danken Herrn Dr. E. SPENKE für die Anregung zu dieser Arbeit, den Herren H. BENDA, Dr. A. HOFFMANN, Dr. W. KELLER und Dr. K. REUSCHEL für die Versorgung mit Siliciumeinkristallen aller gewünschten ϱ -Werte. Unser besonderer Dank gilt Herrn K. RECKNAGEL für die geduldige und sorgfältige Herstellung der untersuchten Transistoren.