

jedoch die Polarisation der 1097 keV- γ -Quanten allein ermittelt werden. Die Polarisation der 1289 keV- γ -Quanten kann nur aus der Überlagerung der beiden Übergänge im unteren β -Energiebereich unter Berücksichtigung der relativen Anteile der beiden β -Spektren bestimmt werden.

Abb. 2 zeigt unsere Ergebnisse. Es ist die relative Zählratendifferenz E bei Magnetfeldumpolung gegen v/c der β -Teilchen aufgetragen. (Als Fehler

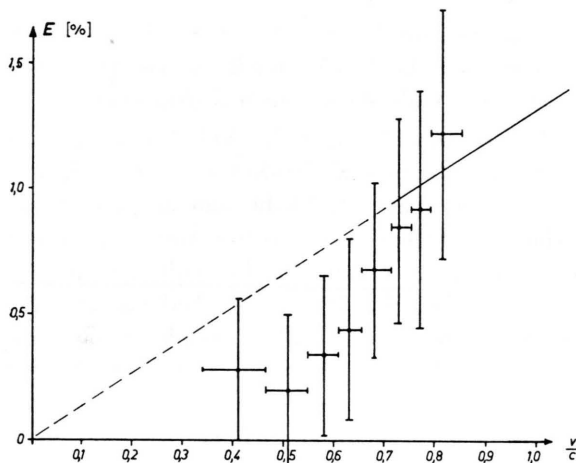


Abb. 2. Relative Zählratendifferenz E als Funktion von v/c .

sind die statistischen Standardabweichungen angegeben.) Die letzten drei Meßpunkte bei großem v/c rühren allein vom 462 keV(β)-1097 keV(γ)-Übergang her. Aus ihnen kann A_{1097} mittels der Beziehung¹³

$$E = 2f A_{1097} \cdot \frac{v}{c} \left\langle \frac{d\sigma_c}{d\sigma_0} \cdot \cos \Theta \right\rangle$$

bestimmt werden, wobei $f = 8\%$ der Anteil der im Eisen ausgerichteten Elektronen, $\langle d\sigma_c/d\sigma_0 \cdot \cos \Theta \rangle$ der Geometriefaktor und A_{1097} der Asymmetrieparameter für 1097 keV- γ -Quanten ist.

Im unteren v/c -Bereich überlagern sich der 462 keV(β)-1097 keV(γ)- und der 271 keV(β)-1289 keV(γ)-Übergang. Daraus kann mit dem erhaltenen Wert für A_{1097} und den relativen Anteilen der beiden β -Spektren der Asymmetrieparameter für den 271 keV(β)-1289 keV(γ)-Übergang ermittelt werden.

Es ergab sich:

a) $A_{1097} = -0,25 \pm 0,07$,

b) $A_{1289} = -0,02 \pm 0,15$.

Diese Ergebnisse stehen in guter Übereinstimmung mit denen von MANN et al.¹⁰. Sie widersprechen denen von FORSTER et al.⁹ sowie denen von HAASE et al.¹¹.

Aus a) kann das Mischungsverhältnis δ der 1097 keV-Strahlung zu $-0,54 < \delta < -0,29$ bestimmt werden.

Aus b) kann der relative FERMI-Matrixelementanteil $X = (-C_v/C_A) (M_F/M_{GT})$ ermittelt werden. Es ergibt sich $-0,07 < X < +0,6$.

Herrn Prof. Dr. W. HANLE danken wir für die wertvolle Unterstützung und zahlreiche Diskussionen. Dem Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung sei für die Bereitstellung von Forschungsmitteln gedankt.

¹³ H. SCHOPPER, Nucl. Instr. 3, 1255 [1958].

Widerstandsfeinstreifungen in tiegelgezogenen Si-Kristallen

A. MÜHLBAUER

Institut für Elektrowärme der Technischen Hochschule Hannover

und

R. KAPPELMEYER, F. KEINER

Wernerwerk für Bauelemente der Siemens & Halske AG, München

(Z. Naturforschg. 20 a, 1089—1092 [1965]; eingegangen am 24. Juli 1965)

Für die Herstellung von Halbleiterbauelementen werden Kristalle definierten Widerstandes mit möglichst einheitlicher Verteilung der Störstellen über

das gesamte Kristallvolumen benötigt. Bei der Züchtung von dotierten Halbleitern mittels der üblichen Ziehverfahren läßt sich die Forderung nach völlig gleichmäßiger Verteilung des Dotierstoffes nicht erfüllen, es treten stets Inhomogenitäten auf. Diese lassen sich einteilen in: 1. Widerstandsänderungen längs der Wachstumsrichtung des Kristalls in größeren Bereichen; 2. Änderungen der Störstellenkonzentration quer zur Kristallziehachse und 3. annähernd periodische Widerstandsschwankungen längs der Ziehachse des Kristalls in mikroskopisch kleinen Bereichen, die als schmale Streifen (engl. striations) sichtbar gemacht werden können. Mit der dritten Gruppe von Dotierungsinhomogenitäten befaßt sich

eine Reihe von Arbeiten, in denen Untersuchungen der Widerstandsfeinstreifen in Ge¹⁻⁸, InSb⁹⁻¹³ und auch in Si^{7, 14-19} beschrieben und mögliche Entstehungsursachen diskutiert werden. Da quantitativ orientierte Untersuchungen dieser Streifen, wie sie beispielsweise von MELTZER⁶ bei Ge durchgeführt worden sind, für Si bisher fehlen, werden in der vorliegenden Arbeit die Dotierungsänderungen von Lamelle zu Lamelle in tiegelgezogenen Si-Kristallen bestimmt und ein geeignetes Ätzverfahren zur Sichtbarmachung der schmalen Wachstumstreifen mitgeteilt.

Sichtbarmachung der Streifen

Hierfür stehen seit einiger Zeit mehrere Verfahren mit unterschiedlichem Auflösungsvermögen zur Verfügung¹⁴⁻²¹. Im Rahmen unserer Untersuchung wurde ein elektrolytisches Ätzverfahren entwickelt, welches gegenüber dem chemischen Ätzen^{15, 21} den Vorteil hat, durch geeignete Einstellung des Stromes eine selektivere Ätzwirkung und damit eine schärfere Wiedergabe der Streifen zu erzielen.

Die einseitig geschliffenen und geläpften 2 bis 3 mm dicken Kristallbrettchen, welche aus dem zu untersuchenden Si-Stab längs eines Durchmessers durch axialen Schnitt herausgetrennt worden sind, werden auf der unbearbeiteten Seite mit einem elektrischen Kontakt versehen und anschließend so mit Kunstharz abgedeckt, daß nur noch die zu ätzende Fläche freiliegt. Die anodisch zu polenden Si-Proben werden in eine wässrige Flußsäurelösung eingebracht, für deren Konzentration Anhaltswerte vorlagen^{22, 23}. Als Kathode dient ein Streifen Kupferblech.

Als günstigste Ätzbedingungen wurden für die behandelten, in ihrer Oberflächenbeschaffenheit und in ihrem spezifischem Widerstand sehr unterschiedlichen Siliciumteile ermittelt:

Elektrolyt: 5- bis 20-proz. HF-Lösung mit einigen Volumenprozenten Glycerin,
 Stromdichte: 0,3 bis 1,5 A/cm²,
 Ätzdauer: 0,5 bis 15 Minuten.

Für das Zustandekommen von brauchbaren Ätzbildern müssen die Proben n-leitend sein und einen spezifischen Widerstand kleiner 3 Ωcm besitzen.

Bei der Durchführung des Verfahrens treten je nach Stromdichte und HF-Konzentration folgende Erscheinungen auf: 1. Bleibt man mit der Stromdichte unterhalb eines kritischen Wertes, so findet kein Abtrag mehr statt. Es bildet sich dann auf der Oberfläche ein SiO₂-Belag, dessen Dicke an verschiedenen Stellen von der dort herrschenden Stromdichte abhängt, so daß er zur Sichtbarmachung der Streifen ausgenützt werden kann (Abb. 1 *). 2. Überschreitet die Stromdichte eine obere Grenze, so erhält man ebenfalls einen Belag, der wahrscheinlich aus wiederangelagertem amorphem Silicium besteht. Zur Sichtbarmachung von Wachstumstreifen läßt sich dieser Niederschlag nur bedingt ausnützen. 3. Im dazwischenliegenden Bereich wird die Si-Probe selektiv abgetragen (Abb. 2).

An einer Reihe von Si-Einkristallen wurden die Streifen auf diese Art sichtbar gemacht und deren Breite unter dem Mikroskop bestimmt. Solche Meßreihen ergaben unregelmäßige Schwankungen der Streifenbreite zwischen 5 und 70 μm.

¹ P. R. CAMP, J. Appl. Phys. **25**, 459 [1954].

² A. C. ENGLISH, J. Appl. Phys. **31**, 1498 [1960].

³ J. A. M. DIKHOFF, Solid-State Electron. **1**, 202 [1960], Philips Techn. Rdsch. **25**, 441 [1963/64].

⁴ H. UEDA, J. Phys. Soc. Japan **16**, 61 [1961].

⁵ B. M. TUROVSKII u. M. G. MILVIDSKII, Soviet Phys.-Solid State **3**, 1834 [1962].

⁶ G. MELTZER, J. Electrochem. Soc. **109**, 947 [1962].

⁷ W. SPALEK, private Mitteilung.

⁸ A. LÖRINGCZY, T. NÉMETH u. P. SZEVENI, Acta Phys. Hung. **16**, 63 [1963].

⁹ W. P. ALLRED u. R. T. BATE, J. Electrochem. Soc. **108**, 258 [1961].

¹⁰ H. C. GATOS, A. J. STRAUSS, M. C. LAVINE u. T. C. HARMON, J. Appl. Phys. **32**, 2057 [1961].

¹¹ N. ALBON, J. Appl. Phys. **33**, 2912 [1962].

¹² F. R. KESSLER u. H. J. METZGER, Phys. kondens. Materie **1**, 225 [1963].

¹³ A. MÜLLER u. M. WILHELM, Z. Naturforschg. **19 a**, 254 [1964].

¹⁴ M. TANENBAUM, L. B. VALDES, E. BUEHLER u. N. B. HANNAY, J. Appl. Phys. **26**, 686 [1955].

¹⁵ W. D. EDWARDS, Canad. J. Phys. **38**, 439 [1960].

¹⁶ L. S. MILEVSSKII, Soviet Phys.-Crystallogr. **6**, 193 [1961].

¹⁷ M. G. MILVIDSKII u. A. W. BERKOWA, Industr. Lab. **27**, 569 [1961], Soviet Phys.-Solid State **5**, 517 [1963].

¹⁸ G. H. SCHWUTKE, J. Appl. Phys. **34**, 1662 [1963].

¹⁹ J. R. CARRUTHERS u. K. E. BENSON, Appl. Phys. Letters **3**, 100 [1963].

²⁰ B. A. JOYCE, Solid-State Electron. **5**, 102 [1962].

²¹ G. GREGER, Z. Angew. Phys. **13**, 47 [1961].

²² A. UHLIER, Bell Syst. Techn. J. **35**, 333 [1956].

²³ D. R. TURNER, J. Electrochem. Soc. **105**, 402 [1958].

* Abb. 1 und 2 auf Tafel S. 1090 a.

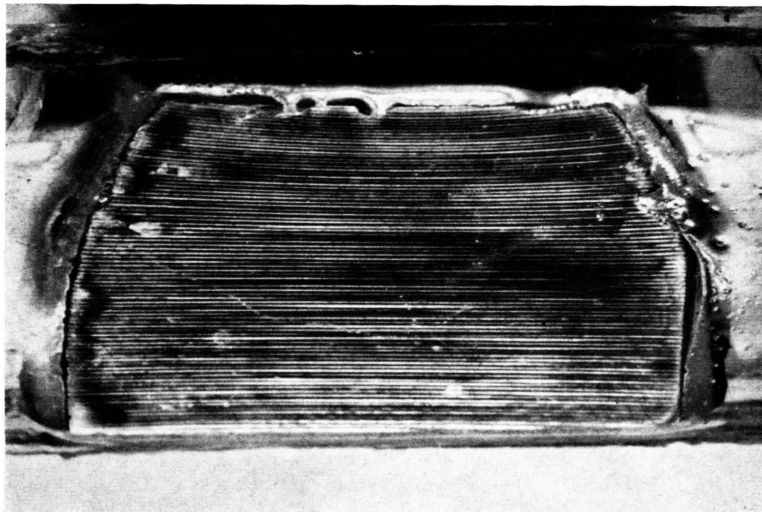


Abb. 1. Durch elektrolytische Ätzung sichtbargemachte Wachstumsfeinstreifen (Ausnützung des sich bildenden SiO_2 -Belages zwecks Erlangung eines kontrastreichen Bildes).



Abb. 2. Selektiver elektrolytischer Abtrag einer Si-Probe bei 100-facher Vergrößerung.

