

Ljutovič, A. S.:

Die elektrophysikalischen Eigenschaften dünner epitaktischer Siliziumschichten

Deutsche Auszugsübersetzung aus:

Ionno-aktivirovannaja kristallizacija plenok. Taškent: FAN, 1982, S. 53-57.
(Akademie der Wissenschaften der Uzbekischen SSR. U. A. Arifov-Elektronik-Institut)

Russisch:

Электрофизические свойства тонких эпитаксиальных слоев кремния

Élektrofizičeskie svojstva tonkich épitaksial'nych sloev kremnija

Mit Hilfe ultradünner Epitaxieschichten ($0,2-3 \mu\text{m}$) lassen sich die Parameter von Höchstfrequenztransistoren, integrierten Fotodioden, Bauelementen mit Ladungskopplung usw. deutlich verbessern. Sie müssen jedoch nach umfassenden Parametern ausgeführt sein (hohe Lebensdauer, Beweglichkeit und Homogenität) und außerdem die Möglichkeit zur Bildung mehrschichtiger Strukturen mit steilen Dotierprofilen und $p-n$ -Übergängen bieten, die über gute Injektionseigenschaften und geringe Verlustströme verfügen.

Während man zur Verwirklichung der ersten Gruppe von Forderungen die Epitaxietemperatur erhöhen muß, um die kristallographische Qualität des Materials zu gewährleisten, muß man im Gegensatz dazu zur Erfüllung der zweiten Gruppe die Kristallisationstemperatur verringern, um die Störstellendiffusion aus der Schicht in das Substrat in der festen Phase zu unterdrücken und eine "Autodotierung" zu vermeiden.

Wir haben den Versuch unternommen, einen technischen Kompromiß umzusetzen: Versuchsbedingungen für die Herstellung dünner und ultradünner Siliziumschichten mit perfekter Kristallstruktur zu finden, bei Temperaturen, die nur eine unwesentliche Störstellendiffusion zulassen.

Das Niedertemperaturverfahren zur Bildung von Epitaxieschichten und $p-n$ -Übergängen entspricht außerdem den modernen Tendenzen in der Technologie der Bauelementeherstellung: bei der Ionenimplantation, der Oberflächendiffusion bei niedrigen Temperaturen, der Passivierung usw.

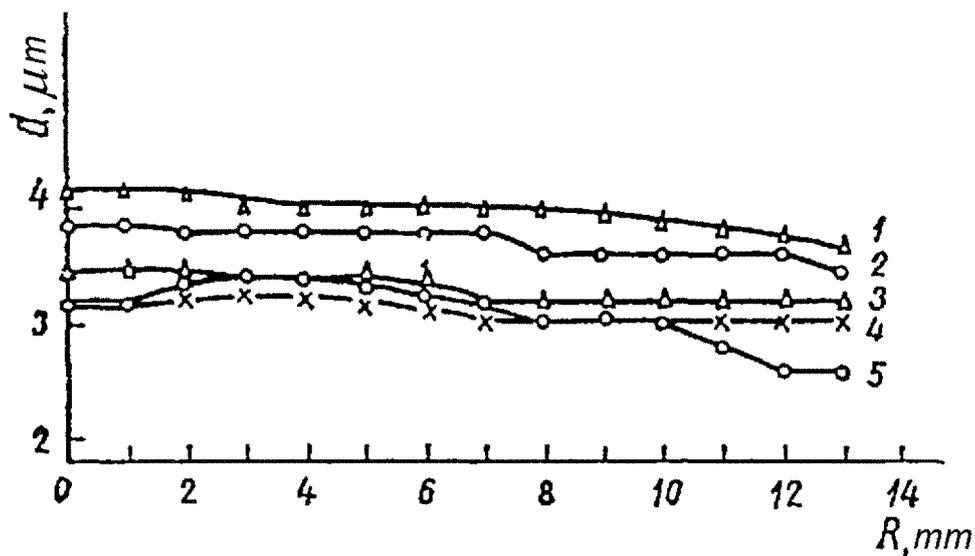


Abb. 17. Verteilung der Schichtdicke entlang des Waferradius:

1 - $\pm 8\%$; 2 - $\pm 7\%$; 3 - $\pm 4,5\%$; 4 - $\pm 5\%$; 5 - $\pm 13\%$.

Kristallographische Qualität und Kristallstruktur der Schichten. Die Schichten sind im Verhältnis zum einkristallinen Substrat epitaktisch, das bestätigen Mikrofotografien charakteristischer Stapelfehler nach selektiver Ätzung in Standard-Chromätzer, Laue-Diagramme, die auf der Röntgenanlage URS-50* aufgenommen wurden und außerdem Elektronenbeugungsdiagramme, aufgenommen mit der Elektronenbeugungskamera ÉG-100 A. Den Ergebnissen der optischen Mikroskopie zufolge (400- bis 600fache Vergrößerung), gibt es keine Reliefabweichungen bei den Proben und keine Makrodefekte.

Oberflächenuntersuchungen analoger Proben mit Hilfe der Elektronenmikroskopie, die von L. I. Fedina [66] unter Einsatz der kleinwinkligen Abschattung mit Gold und mit Hilfe der Transmissionselektronenmikroskopie auf dem Gerät UEM-150 durchgeführt wurden, haben gezeigt, daß von einer Schichtdicke von 150-200 Å an die Erzeugung ausreichend defektfreier Epitaxieschichten möglich ist.

Schichtdicke. Mit dem beschriebenen Verfahren wurden Epitaxieschichten in einem Dickenbereich von 150 Å - 15 µm gewonnen. Die Dicke wurde mit Hilfe elektronenmikroskopischer Verfahren mit dem mehrstrahligen Interferenzmikroskop MII-4 gemessen (nach der Stufenhöhe, den Stapelfehlergrößen, der Färbung des Kugelschliffs am *p-n*-Übergang und auch der IR-Reflexion).

Die Ergebnisse der Dickenmessung nach der Stufenhöhe und der IR-Absorption stimmen gut überein. Der Unterschied beträgt 7-10%, die Dickenunterschiede der Epitaxieschichten pro Fläche liegen bei 5-10% für Dicken in einer Größenordnung von 4-8 µm (Abb. 17).

Spezifischer Widerstand. Durch den Wechsel der Verdampfungsquelle kann man das Dotierungsniveau der Epitaxieschicht, den Leitfähigkeitstyp und die chemische Beschaffenheit der Dotierungsverunreinigungen variieren. Bei den beschriebenen Experimenten besteht die Möglichkeit, mit Beimischungen zu dotieren, die tiefe Niveaus ergeben. Der Bereich der von uns erhaltenen spezifischen Schichtwiderstände liegt bei 10^{-2} - 10^2 Ω·cm.

Der spezifische Widerstand wurde als Funktion der Tiefe der gezüchteten Schicht mit einer Mikrosonde nach dem spreading resistance Verfahren gemessen, unter Einsatz von kleinwinkligen Schliffen. Abb. 18 zeigt die Tiefenverteilungsprofile des Systems Schicht - Substrat; ein markanter Konzentrationsübergang Substrat - Schicht wird sichtbar.

Besonders hervorzuheben ist das Fehlen des "Autodotierungseffekts" in unseren Versuchen dank der niedrigen Epitaxietemperatur und weil als Heizelemente Substrate aus schwerschmelzbaren hochreinen Metallen verwendet wurden. Für die erzeugten Schichten sind die Durchschlagsspannungswerte reproduzierbar und gut mit dem spezifischen Widerstand korreliert.

* ustanovka rentgenovskaja dlja strukturnogo analiza, deutsch: Röntgenanlage für Strukturanalysen

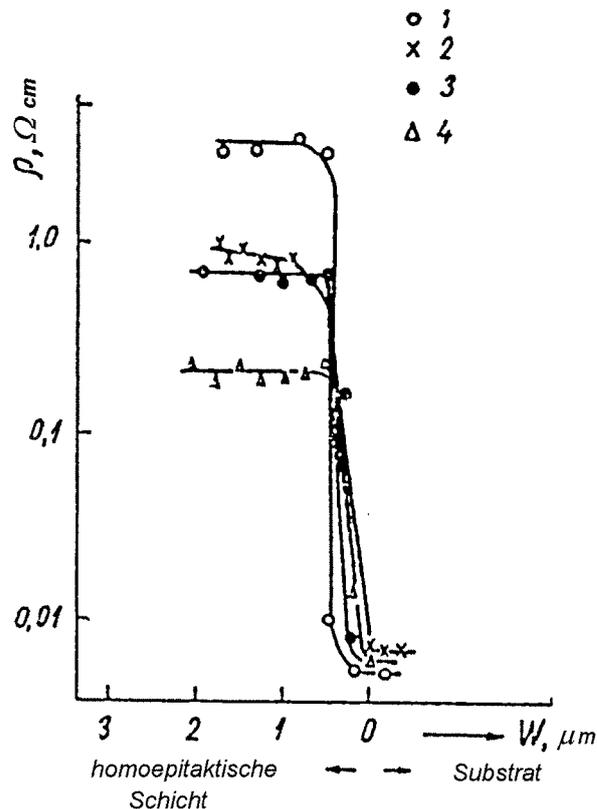


Abb. 18. Typische Verteilungsprofile für ρ nach der Schichttiefe:
 1 - 5 $\Omega \cdot \text{cm}$; 2 - 1 $\Omega \cdot \text{cm}$; 3 - 0,9 $\Omega \cdot \text{cm}$; 4 - 0,3 $\Omega \cdot \text{cm}$.

Beweglichkeit der Ladungsträger. In den beschriebenen Epitaxieschichten entspricht die Beweglichkeit der Ladungsträger nahezu der Beweglichkeit im Volumen eines Einkristalls desselben Dotierungsniveaus. Sie wurde von uns mit Hilfe einer halbautomatischen Anlage gemessen (Abb. 19). Die Kurven für die Temperaturabhängigkeit der Majoritätsladungsträgerkonzentration unterschieden sich in dem Intervall von 77-330 K (Abb. 20) praktisch nicht von analogen Kurven für Volumenkristalle.

Die Lebensdauer der Ladungsträger bewegt sich in den Grenzen von 0,5-10 μs , was für Epitaxiematerial ein ausreichend hoher Wert ist, er liegt nahe bei den veröffentlichten Werten für Siliziumbauelemente aus Epitaxieschichten, die durch chemische Verfahren erzeugt wurden und zeugt von der geringen Konzentration verschiedener Generations-Rekombinations-Zentren, die bei der beschriebenen Methode in der Epitaxieschicht entstehen.

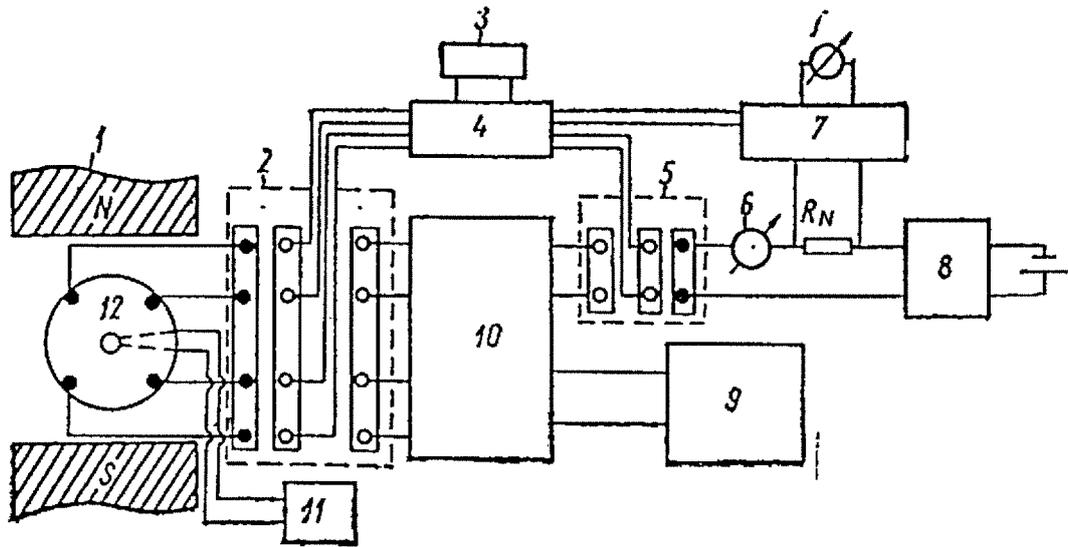


Abb. 19. Blockschaltbild der halbautomatischen Meßanlage für den Hall-Effekt:

1 - Gleichstrommagnet; 2, 5 - abgeschirmte Steckvorrichtungen vom Typ ŠR-20; 3 - Elektrometerverstärker Typ U1-2; 4 - Block für die Umschaltung der Kontakte für Stromzuführung und Abnahme des Spannungsabfalls von der Probe, von Hand - durch Polaritätsänderung des Magnetfelds; 6 - Vielbereichsmikroampèremeter Typ M-244 (Genauigkeitsklasse 0,2); 7 - Dekadenpotentiometer mit hochohmigem Ausgang Typ R-307; 8 - Meßstromgenerator zur Stromregulierung in einem Intervall von 0,5-1000 μA ; 9 - selbstaufzeichnendes Mehrpunkt-Elektronenpotentiometer mit hochohmigem Ausgang, modernisiert auf der Basis von ÉPPV-60 (Meßgrenzen 0-50 und 0-100 mV, Genauigkeit 1%); 10 - Block für die automatische Umschaltung der Kontakte für Stromzuführung und Abnahme des Spannungsabfalls von der Probe und synchronen Polaritätsmessung des Magnetfelds; 11 - Potentiometer Typ KP-59 (Teilungswert 0,05, Genauigkeitsklasse 0,05) zur Messung der elektromotorischen Kraft des Kupfer-Konstantan-Thermoelements; 12 - Untersuchungsprobe; G - Galvanometer Typ M-195/3 mit einer Empfindlichkeit von $1,5 \cdot 10^{-9}$ A/Teilstrich; R_N - Normalwiderstand R-321 (Toleranz 1%).

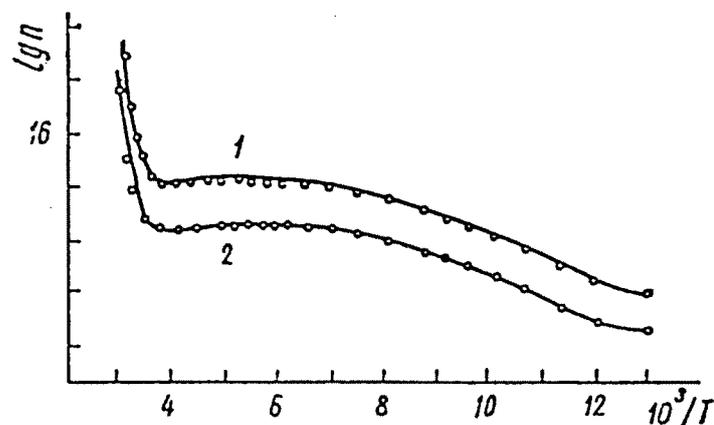


Abb. 20. Abhängigkeit der Majoritätsladungsträgerkonzentration von der Temperatur der Proben mit spezifischem Widerstand (bei Zimmertemperatur):

1 - 0,75 Ωcm ; 2 - 1,09 Ωcm .

Die Eigenschaften von MOS-Feldeffekttransistoren. Die Untersuchung der Eigenschaften der p - n -Übergänge, MOS-Strukturen und MOS-Transistoren, die aus den erzeugten Strukturen nach Standardplanartechnologie hergestellt wurden, wurde gemeinsam mit A. A. Lavrenov vorgenommen. Die Ergebnisse bestätigten die gute Qualität der gezüchteten Schichten. So waren die Dunkelströme entgegengesetzt zu den verlagerten p - n -Übergängen bei einer Vorspannung von 15 V nicht größer als 10^{-8} A/cm², die Durchschlagsspannung des gezüchteten Oxids mit einer Dicke von 0,15 μ m lag bei über 100 V, die Relaxationszeit des nichtstationären Verarmungsbereichs der MOS-Struktur betrug bei einer Spannung von 20 V 1-100 s. Der Vergleich der ermittelten Charakteristik mit den Daten anderer Bauelemente (Durchschlagsspannungen der p - n -Übergänge, Steilheit, Schwellenspannung usw.) hat gezeigt, daß die elektrophysikalischen Parameter der gewonnenen Epitaxieschichten nicht schlechter sind als die Parameter von räumlichem Material.

Literatur

[66] Александров, Л. Н.; Криворотов, Е. А.; Лютович, А. С.; Суворов, А. Н.; Федина, Л. И. В кн.: Рост и легирование полупроводниковых кристаллов и пленок, ч. II. Новосибирск, 1977, с. 149-154.

Aleksandrov, L. N.; Krivorotov, E. A.; Ljutovič, A. S.; Suvorov, A. N.; Fedina, L. I.: Issledovanija načal'nych stadij rosta gomoépitaksial'nych sloev kremnija pri osaždenii v vakuume. Im Sammelband: Rost i legirovanie poluprovodnikovych kristallov i plenok. Teil 2. Novosibirsk: Nauka, 1977, S. 149-154.

/Untersuchung der Anfangswachstumsstadien homoepitaktischer Siliziumschichten bei Vakuumabscheidung; russ./

Stuttgart, den 15. 03. 1999

Übersetzt von:



Sören Ludwig



Ottmar Pertschi
(Diplomübersetzer)