

# Oberflächenanalyse für die Mikroelektronik

**H. Hutter, K. Piplits, M. Grasserbauer**  
**Institut für Analytische Chemie, TU Wien,**  
**1060 Wien**

Durch exakte Messungen der Implantationsprofile von Phosphor in Silizium mittels SIMS konnte die Simulation des Channeling-Effektes verbessert werden. Insbesondere der Einfluß des electronic-stopping und der Kristallgitterschädigung konnte bestimmt werden. In dieser Arbeit wird die speziell entwickelte Meßtechnik behandelt, durch deren exakte Ergebnisse diese Entwicklung möglich war. In einem zweiten Teil wird auf die Untersuchung mikrostrukturierter Biosensoren eingegangen. Dabei konnten der innerer Aufbau und Verunreinigungen die durch den Produktionsprozeß eingebracht wurden, bestimmt werden.

## 1. Einleitung

Die Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS) ist ein etabliertes Verfahren zur Bestimmung der Verteilung von Spurenelementen in Festkörpern. Die Analyse der Dotierstoffverteilung in Halbleitern ist eine der Hauptanwendungen des Verfahrens. Bei der Optimierung von Programmen zur Simulation der Implantation sind äußerst exakte Messungen von dotierten Proben notwendig, dabei ist eine Weiterentwicklung der Meßtechnik oft unumgänglich. Auch bei der Entwicklung von Biosensoren ist die Messung der Schichtstruktur und der eingebrachten Verunreinigungen ein notwendiges Hilfsmittel, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten.

## 2. Channeling in Si

Die Ionenimplantation ist das in der Siliziumtechnik am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Einbringung von Dotieratomen in den Halbleiterkristall. Hierbei tritt im allgemeinen der sogenannte Channeling-Effekt auf, der eine Vergrößerung der Ionenreichweite in niedrig indizierten Kristallrichtungen zur Folge hat. Ziel des Projektes war die Entwicklung verbesserter physikalischer Modelle zur Beschreibung des Channeling-Effektes und deren Implementierung in ein Monte-Carlo-Simulationsprogramm. Insbesondere sollten verbesserte Modelle der elektronischen Abbremsung und der Kristallgitterschädigung, die einen maßgeblichen Einfluß auf das Hinein- und Herausstreuen von Ionen in die bzw. aus den Kanälen haben, entwickelt werden.

Im experimentellen Teil des Projektes wurden (100) und (110) Siliziumscheiben mit ausgewählter Einschubrichtung und verschiedenen Dosen Phosphor implantiert. Die Einschubrichtungen waren einerseits parallel zu niedrig indizierten Kristallrichtungen, andererseits  $7^\circ$  geneigt zur (100)-Richtung. Die Channeling-Implantationen dienten der Modellentwicklung, da hier die Effekte der elektronischen Abbremsung und der Implantationsschäden besonders gut beobachtet werden können. Die geneigten Implantationen dienten zur Überprüfung der Modelle in praktisch wichtigen Fällen.

Die experimentelle Anforderung bei der Implantation ist insbesondere eine sorgfältige Ausrichtung der Proben mit der Einschubrichtung der Ionen, welche mit Hilfe von H-Backscattering bewerkstelligt wurde.

Die Modellierung basiert auf den Unterschieden der Profile. Die elektronische Abbremsung ergibt sich aus den Unterschieden der maximalen Eindringtiefe, der Einfluß der Kristallgitterschäden ist aufgrund der Abweichung der Dotierstoffprofile von der Dosisproportionalität erkennbar. Um diese Einflüsse genau zu bestimmen, ist eine exakte Messung der Dotierstoffprofile notwendig.

Erschwert wird diese Messung durch die Interferenz von  $^{30}\text{SiH}$  mit  $^{31}\text{P}$ . Aufgrund dieser Masseninterferenz muß entweder mit hoher Massenauflösung ( $\Delta m/m > 4000$ ) oder mit starker Energiefilterung gemessen werden. Es konnte gezeigt werden, daß durch die selektive Detektion der Sekundärionen mit Energien über 300 eV eine nahezu vollständige Unterdrückung der SiH Molekülonen erreicht wird, dadurch ist eine exakte Messung des Profils möglich.

In Abb. 1 sind drei Implantationsprofile mit unterschiedlicher Dosis dargestellt. Durch die Erhöhung der Dosis müßte eine proportionale Parallelverschiebung der Implantationsprofile erfolgen. Aber die Konzentration im Tail des Profils, die durch Channeling bedingt ist, steigt ab einer Dosis von  $10^{14}$  Ionen/cm<sup>2</sup> nicht mehr nennenswert an. Dieser Effekt zeigt den Einfluß der mit der Dosis zunehmenden Kristallgitterschädigung.

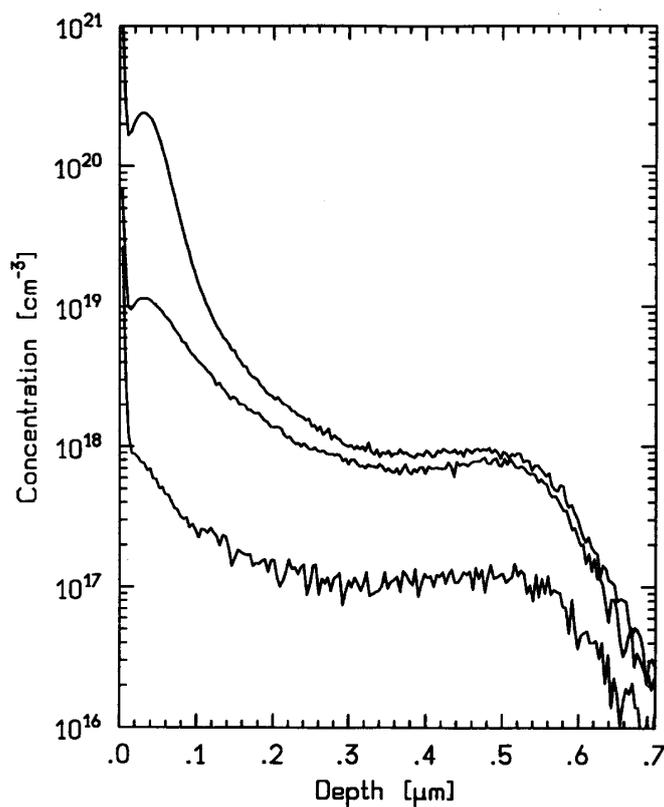


Abb. 1: Drei SIMS Tiefenprofile von Implantationen. Phosphor, 25 keV, in (100) Richtung, Dosis:  $10^{15}$ ,  $10^{14}$ ,  $10^{13}$  Ionen/cm<sup>2</sup>

Durch die systematische Auswahl der Implantationsbedingungen und die sorgfältig durchgeführte Messung, konnten nicht nur die Modelle der elektronischen Abbremsung und der Kristallgitterschädigung verbessert werden, sondern es konnte die Vorhersagekraft der Simulation anhand von Beispielen verifiziert werden.

### 3. Kohlenstoffschichten in der Biosensorik

In der Biosensorik werden biologisch relevante chemische Verbindungen auf elektrischem Wege detektiert. Dies geschieht direkt durch Oxidation/Reduktion des interessierenden Stoffes (z.B. Ascorbinsäure,...) oder indirekt durch Umsatz des Stoffes, z.B. mittels eines Enzyms, und Messung der Eigenschaften des Reaktionsproduktes. In beiden Fällen ist eine sorgfältige Wahl des Elektrodenmaterials für den erfolgreichen Bau eines Sensors von Bedeutung.

Dabei nutzt man die speziellen Eigenschaften des jeweiligen Sensormaterials um ungewünschte Nebeneffekte zu unterdrücken (Querempfindlichkeit), chemisch inertes (Toxizität, Electrode Fouling) oder katalytisches Verhalten zu erreichen.

Kohlenstoff besitzt einige für den Bau eines Sensors günstige Eigenschaften:

- Kohlenstoff ist inert und zeigt beinahe keine elektronischen Oberflächenreaktionen;
- Kohlenstoff reagiert bei Raumtemperatur nicht mit Sauerstoff und Schwefel;
- Kohlenstoff besitzt eine in weitem Bereich einstellbare Leitfähigkeit;
- Kohlenstoff hat in biologischen Medien ein geringes „fouling“.

Kohlenstoff hat aufgrund seiner breiten Eigenschaften viele Varietäten. Die für den Einsatz als Elektroden für Sensoranwendungen wichtigsten sind „Graphite“, „Carbon Black“, „Glassy Carbon“ und „Diamondlike Carbon“.

Die Eigenschaften variieren von „guter Leitfähigkeit“ und „weich“ bis hin zu „schlechter Leitfähigkeit“ und „hart“.

#### 3.1 Herstellung der Kohlenstoffschichten

Die Kohlenstoffschichten wurden am Institut für allgemeine Elektrotechnik und Elektronik in einer eigens dafür entwickelten Magnetron-Plasmabeschichtungsanlage abgeschieden. Als Reaktionsgas diente Azetylen. Die Substrate wurden nicht beheizt, um die Schichten mit einem photolithographischen „float off“-Prozeß strukturieren zu können. Zusätzlich muß die Plasmaenergie klein gehalten werden. Das Ergebnis sind harte Schichten mit hohem spezifischen Widerstand und hohen Spannungen innerhalb der Schicht. Zur Streßminderung wird zwischen der Kohlenstoffschicht (Dicke: 100 nm) und dem Substrat (Silizium) eine Interfaceschicht aus Aluminium (Dicke: 120 nm) und  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (Dicke: 130 nm) aufgebracht. Durch anschließendes Aufheizen wird der Schichtwiderstand reduziert.

#### 3.2 Meßergebnisse

Durch die elektrisch isolierende  $\text{Si}_3\text{N}_4$  Schicht kommt es während der SIMS Messung zu einer Aufladung der Probe. Durch programmgesteuerte Anpassung (high voltage auto control) der Probenhochspannung konnte dieser Effekt ausgeglichen werden.

In den Tiefenprofilen ist die Verunreinigung des Schichtsystems mit Natrium ersichtlich. Dieses dürfte durch einen verschmutzten Rezipienten bedingt sein. Der hohe Wasserstoffgehalt der Schichten, der aus den Messungen ersichtlich wird, dürfte die Ursache für die geringe Leitfähigkeit bilden. Durch Tempern bei 600°C ist eine Abnahme des Wasserstoffgehaltes feststellbar. Diese könnte die verbesserte Leitfähigkeit nach dem Tempern erklären.

#### 4. Conclusio

Die Mikroelektronik bildet eine stete Herausforderung an die moderne Analytik. Durch Weiterentwicklung etablierter analytischer Methoden wie SIMS wird die Bestimmung von Parametern, die für die Erstellung verbesserter Modelle nötig sind, erst möglich.

Bei der Entwicklung neuer Anwendungen der Mikroelektronik, wie z.B. Biosensoren, liefert die Analytik wichtige Informationen über Aufbau und Funktionsweise dieser Bauelemente.