

EPR-INDUZIERTER LADUNGSTRANSPORT IN HOCH-DOTIERTEM n-TYP SiC

María Isabel Grasa Molina

Paderborn, 31.8.2000

Elektron Paramagnetische Resonanz (EPR) Methode sind leistungsfähige Techniken für die Bestimmung von Defekt-Strukturen. Für die Untersuchung von kleinen oder nieder-ohmschen Proben (Epitaxie-Schichten, Dioden, etc.) bietet die elektrisch nachgewiesene Elektron Paramagnetische Resonanz (EDEPR) verschiedene Vorteile gegenüber der konventionell nachgewiesene-EPR: sie liefert Information über die mikroskopische Defektstruktur mit einer erhöhten Empfindlichkeit und die kostspielige Mikrowellentechnik wird überflüssig. Bisher wurde EDEPR für Untersuchungen von amorphen und porösen Halbleitern, sowie bestrahlten kristallinen Halbleitern angewandt. Im Falle von nicht-bestrahlten kristallinen Proben war es jedoch nicht klar, welche Konzentrationen von Donatoren und Akzeptoren waren nötig für die Beobachtung eines EDEPR-Signals. Das Ziel dieser Arbeit war das Vertiefen unserer Kenntnissen von der EDEPR-Methode, insbesondere für den Fall von hoch-dotierten kristallinen Halbleitern, um die optimalen Meßbedingungen voraussagen zu können. Zu diesem Zweck wurden verschiedene n-Typ Einkristall- und Epitaxie- Silizium Karbid Proben mit hohen Stickstoff-Konzentrationen mittels elektrische Methoden, EPR und EDEPR untersucht.

Zunächst wurden elektrische Untersuchungen durchgeführt mit dem Ziel, die Defekt-Konzentration und Kompensation, sowie der vorwiegende Ladungstransport Mechanismus bei den niedrigen Temperaturen typisch für EDEPR Untersuchungen zu bestimmen. Ferner wurde der Einfluß von Mikrowellen-Bestrahlung untersucht. Untersuchungen der Temperatur- und Magnetfeld-Abhängigkeit des Widerstandes zeigten, daß hopping der vorwiegende Ladungstransport-Prozeß bei niedrigen Temperaturen war in dem Fall von teilweise-kompensierten Proben mit einer Stickstoff-Konzentration N_D im Bereich von $10^{18} \text{cm}^{-3} < N_D < 10^{19} \text{cm}^{-3}$.

Das EDEPR-Signal wurde ohne Beleuchtung der Probe gemessen und entsprach einer Widerstandsverminderung bei Spin Resonanz-Bedingungen, im Gegensatz zum Fall der Donator-Akzeptor Rekombination. Die Größenordnung des Effekts bei optimalen Bedingungen betrug $\Delta\rho_{\text{EPR}}/\rho \approx 10^{-3}$. Experimentelle Untersuchungen des Verhaltens des EDEPR-Signals mit Parametern wie Temperatur, Microwellenleistung, Modulationsfrequenz und Defekt-Konzentration lieferten die nötigen Informationen, um die mikroskopische Prozesse, die für die Widerstandsverminderung bei Spin Resonanz-Bedingungen verantwortlich sind, zu diskutieren.

Im Gegensatz zu früher vorgeschlagenen Mechanismen, nämlich die Übertragung von EPR-Energie zu den hopping Elektronen mittels die Austauschwechselwirkung und die Spin-Bahn Kopplung, wir diskutieren eine Erwärmung der Probe bei Resonanz-Bedingungen als Ursprung der resonanten Widerstandsverminderung. In der Resonanz absorbiert das Spin-System Mikrowellen-Energie, die durch verschiedene Relaxationsprozesse zu der Umgebung übertragen wird. Daraus folgt, daß der Kristall bei Resonanz-Bedingungen erwärmt wird. Ein Experiment wurde durchgeführt, um zu beobachten, ob sich die Temperatur an der Probe tatsächlich erhöht. Eine direkte Messung der Temperatur-Änderung wurde durchgeführt. In der Tat wurde eine Temperatur Erhöhung bei Resonanz-Bedingungen festgestellt.

In Proben mit einer Stickstoff-Konzentration von ungefähr $(1-3) \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$ wurden zwei zusätzliche EPR-Linien gefunden, im Vergleich zu den Hyperfein-Triplet Spektren ($I=1$ for ^{14}N) für niedrigen Defekt-Konzentrationen. Die zusätzlichen Linien lagen genau in der Mitte zwischen zwei Hyperfein- Linien. Solche zusätzlichen Linien waren schon früher beobachtet

worden, und deren Ursprung war Gegenstand von Kontroverse. In einer weiteren Probe wurden jedoch sechs zusätzliche Linien beobachtet, deren Lage entsprach $\pm 1/4$, $1/2$ and $3/4$ der Hyperfein-Aufspaltung vom Stickstoff –Donator auf dem quasikubischen Platz. Die experimentell ermittelte Temperatur-Abhängigkeit des Widerstandes dieser Proben zeigte, daß hopping-Prozesse die Leitfähigkeit bei niedrigen Temperaturen bestimmt. Wir haben gezeigt, daß die zusätzlichen EPR-Linien aus hopping der Donator-Elektornen zwischen zwei oder vier Stickstoff-Donatoren resultieren.