

Zusammenfassung der Dissertation von Herrn B. Langhanki mit dem Titel
„Electron Paramagnetic Resonance of Process-Induced Defects in Silicon“

Für die erst seit wenigen Jahren genutzte Methode des elektrischen Nachweises der elektronenparamagnetischen Resonanz (EDEPR) wurden neue Techniken zur Verbesserung und Erweiterung der Anwendbarkeit entwickelt. Unter anderem wurde EDEPR erstmals bei hohen Mikrowellenfrequenzen (bis 72GHz) erfolgreich eingesetzt und dadurch die spektrale Auflösung des Verfahrens gesteigert.

Mit EDEPR wurden (100)-orientierte Silizium-Proben nach Ionen-Implantation untersucht. Vornehmlich in Si/SiO₂-Grenzschichten vorkommende Defekte wurden gefunden, die sich durch ungepaarte Bindungs-Elektronen („dangling bonds“) auszeichnen und bislang hauptsächlich in (111)-orientierten Proben mit konventioneller EPR untersucht wurden. Aufgrund der hohen Empfindlichkeit der EDEPR konnte erstmals ein Defekt (genannt P_{bb}) in einer (100) Si/SiO₂ Grenzschicht gefunden werden, der mit konventioneller EPR aufgrund zu geringer Empfindlichkeit nicht detektierbar ist. In der Literatur sind Vermutungen über die Entstehung von „dangling bond“-Defekten in Bereichen deutlich unterhalb der Si/SiO₂ Grenzschicht angestellt worden. Mit der Beobachtung eines weiteren, nach Ionen-Implantation in einigen µm Tiefe entstehenden Defektes (genannt P_{ba}) kann dieses bestätigt werden. Die Übereinstimmung der *g*-Tensor-Werte von P_{ba} mit denen des in der Literatur bekannten P_{b0}-Defektes legen eine Identifizierung mit diesem nahe. Die räumliche Lage des bisher bei Raumtemperatur untersuchten P_{b0}-Defektes konnte eingegrenzt und über Messung der EDEPR-Winkelabhängigkeit die Defektsymmetrie eindeutig bestimmt werden.

Mit den thermisch induzierten flachen Donatoren (STD) wurde eine weitere Gruppe technologisch interessanter Silizium-Defekte untersucht. Die Entstehung von STD nach Wasserstoffbehandlung, Elektronenbestrahlung und anschließender Temperung bei (350–550)°C wurde mittels Messung der Infrarot-Absorption (FTIR) beobachtet und die Bedeutung von Wasserstoffbehandlung sowie interstitieller Atome für diese Defekte erarbeitet. Hochfrequenz-EDEPR ermöglichte eine exakte Bestimmung des charakteristischen *g*-Tensors dieser STD. Mit Elektronen-Kern-Doppelresonanz (ENDOR) konnte die Beteiligung eines Wasserstoffatoms (H) und mit elektronenparamagnetischer Resonanz (EPR) die eines Siliziumatoms an den STD(H) genannten Defekten nachgewiesen werden. Aufgrund der Ergebnisse kann die Defektstruktur der STD(H) mit (C-H)_i-2O_i angenommen werden. In dem Modell ist ein H-Atom an ein interstitielles Kohlenstoffatom gebunden, das sich in einer Ebene mit zwei interstitiellen Sauerstoffatomen befindet. Neben Proben mit Donatoren mit Wasserstoffbeteiligung (STD(H)) wurden auch solche ohne Dotierung von H und weitere mit Einbau von Aluminium (STD(Al)) untersucht. Ein vereinheitlichendes, strukturelles Modell für die drei bisher bekannten Familien der STD konnte abgeleitet werden. Entscheidendes Merkmal aller drei STD ist der Einbau eines interstitiellen Atoms.

Die Ergebnisse der EDEPR Messungen an „dangling-bond“-Defekten sowie an STD wurden genutzt, um Rückschlüsse auf den Mechanismus der Messmethode ziehen zu können. In allen Fällen wird eine Donator-Akzeptor-Rekombination angenommen, die u. a. durch Messung der charakteristischen Mikrowellen-Leistungsabhängigkeit des EDEPR-Signals überprüft wurde. Es wird gezeigt, dass die Beobachtbarkeit von EDEPR-Signalen stark von einer ausreichenden Dichte der Donator-Akzeptor-Paare (DAP) abhängt. Über Implantations- oder Strahlendefekte kann ein Rekombinationspfad erschlossen werden, über den weitere Defekte nachgewiesen werden können, deren DAP-Dichte für eine direkte Detektion nicht ausreichend ist. Es wird gezeigt, dass mit der Bestrahlung (z. B. Elektronen) von Proben die Anwendbarkeit der EDEPR erheblich erweitert werden kann.