

# Kapitel 6

## Zusammenfassung

Der Magnetspektrograph am ISL (Q3D) wurde im Rahmen dieser Arbeit für ERDA-Analysen erweitert. Hierfür wurde eine den Anforderungen der Dünnschichtanalytik entsprechende Probenkammer konzipiert und aufgebaut, sowie Modifikationen am Fokalebenendetektor zur Verbesserung der Orts- und Massenauflösung durchgeführt. Dadurch konnte eine Energieauflösung des Systems von  $\Delta E/E = 3 \cdot 10^{-4}$  erzielt werden. Diese spiegelt sich in einer Tiefenauflösung der gemessenen Tiefenprofile von  $\Delta x \approx 1$  nm wider.

Die Identifizierung der Rückstoßteilchen wird bei schwereren Massen ( $Z > 16$ ) wegen der zunehmenden Zahl von Ladungszuständen schwierig und begrenzt die Anwendbarkeit der Methode auf analysierbare Elemente bis etwa Schwefel. Dieser Bereich enthält dennoch viele Isotope, wie z.B. H, B, N, O oder Si, deren Tiefenprofile in vielen Anwendungen von großem Interesse und mit anderen Methoden schwer zugänglich sind. Das stöchiometrische Verhältnis schwererer Konstituenten kann in einem eigens dafür gebauten Stöchiometriezähler in der Probenkammer bestimmt werden, jedoch nicht mehr ein Tiefenprofil.

Wir haben hiermit ein System aufgebaut, mit dem ERDA-Analysen **dünnere Schichten (1 – 100 nm)** durchgeführt werden können. Dabei wird das **stöchiometrische Verhältnis** der Konstituenten bestimmt und für jedes identifizierte Isotop ein **Tiefenprofil der Konzentration** mit einer **Tiefenauflösung von ca. 1 nm** (nahe der Oberfläche von Proben mit geringer Oberflächenrauigkeit) erstellt.

Aufgrund der hohen Energieauflösung ist die Methode auf kleinste Energieverlustvariationen sensitiv, so auch auf die Energieverlustunterschiede der Projektilen in der Schicht nahe der Oberfläche, in der sich das Ladungsgleichgewicht noch nicht eingestellt hat. Um diesen Bereich genau zu studieren, wurde eine neue Meßmethode entwickelt. Mit ihr können Umladungsprozesse und Energieverluste in Abhängigkeit von Ein- ( $q_i$ ) und Ausgangsladungszustand ( $q_f$ ) des Projektils effektiv untersucht werden.

Ein erstes Experiment mit Ne-Ionen bei 2 MeV/Nukleon in Kohlenstoff wurde erfolgreich durchgeführt und analysiert. Aus den gemessenen Ladungsverteilungen konnten wir die für die Umladungsprozesse relevanten Wirkungsquerschnitte (Elektroneneinfang, Ionisation, Anregung und Zerfall) extrahieren. Es gelang uns, mit nur einem Satz an Wirkungsquerschnitten die Ladungsverteilungen für fünf verschiedene Eingangsladungszustände ( $q_i = 6^+ - 10^+$ ) zufriedenstellend zu beschreiben.

Weiterhin wurden die Energieverluste der Ne-Ionen in vier verschiedenen dicken C-Folien, ebenfalls in Abhängigkeit von Ein- und Ausgangsladungszustand,  $\Delta E(q_i, q_f)$ , vermessen. Mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation, die auf den Wirkungsquerschnitten aus der Analyse der gemessenen Ladungsverteilungen basiert, und den gemessenen Energieverlusten für  $q_i = q_f$  konnten Beiträge durch Umladungsfluktuationen eliminiert werden und der **spezifische Energieverlust  $S(\text{Ne}^{q^+})$** , d.h. das Abbremsvermögen eines Ne-Ions **ausschließlich im Ladungszustand  $q^+$**  gewonnen werden. Mit diesen  $S(\text{Ne}^{q^+})$ -Werten war es möglich, alle anderen gemessenen Energieverluste  $\Delta E(q_i, q_f)$  innerhalb der Fehlergrenzen zu simulieren. Über die Änderung der Ladungsverteilung mit zunehmender Schichtdicke kann somit auch die **Änderung des Energieverlustes im Nichtgleichgewichtsbereich** richtig beschrieben werden, indem man die gemessenen **spezifischen Energieverluste für reine Ladungszustände** verwendet. Desweiteren kann mit dem verwendeten Satz von Wirkungsquerschnitten auch der Beitrag zum Energiestraggling durch Umladungsfluktuationen berechnet werden.