

Auger Electron Spectroscopy an II-VI-Verbindungshalbleitern

E. Wirthl, H. Sitter, P. Bauer
Institut für Experimentalphysik, Universität Linz,
A-4040 Linz

Es wurde das II-VI Verbindungshalbleitersystem $Zn_{1-x}Mg_xTe$ mittels Auger Electron Spectroscopy (AES) untersucht. Das Augenmerk wurde auf die Abhängigkeit der Sensitivitätsfaktoren der einzelnen Elemente in Abhängigkeit vom Mg-Gehalt gelegt. Dabei konnte eine deutliche Änderung dieser Faktoren festgestellt werden. Ziel der Untersuchungen war es, die derzeitige Ex-Situ-Bestimmung der Zusammensetzung ternärer Verbindungen mittels hochauflösender Röntgenbeugung (HRXD) durch eine Quasi-In-Situ Methode zu ersetzen, sodaß eine Fortsetzung des epitaktischen Wachstums nach der chemischen Analyse ohne Unterbrechung des Vakuums möglich ist.

1. Einleitung

An der Universität Linz werden verschiedenste II-VI-Verbindungshalbleiterstrukturen hergestellt. Um die Zusammensetzung von ternären Verbindungen bestimmen zu können, mußten dazu Eichfilme gewachsen werden, welche mittels hochauflösender Röntgenbeugung (HRXD) analysiert wurden. Um sich diese Prozedur zu ersparen, wurde nach einer In-Situ-Methode gesucht, wobei über ein bestehendes Transfersystem die Möglichkeit des Zusammenschlusses der Wachstums-, sowie der Charakterisierungsanlage ohne UHV-Unterbrechung gegeben war. Als Methode der Charakterisierung wurde die Auger Electron Spectroscopy (AES) gewählt.

2. Experimenteller Aufbau – AES als Charakterisierungsmethode

2.1 Experimenteller Aufbau

Es besteht im Reinraum der Institute für Halbleiterphysik und Experimentalphysik der Universität Linz ein UHV-Transfersystem, an das 2 MBE-Anlagen, ein STM und die AES-Anlage angeschlossen sind. Der Aufbau ist in Abb. 1 schematisch dargestellt.

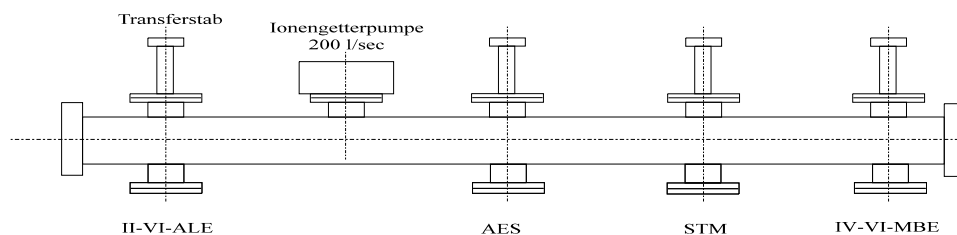


Abb. 1: Schema des UHV-Tunnels

2.2 Auger Electron Spectroscopy

Die AES eignet sich aus folgenden Gründen sehr gut zur Untersuchung von epitaktischen Halbleiterstrukturen [1], [2]:

- Die AES ist eine zerstörungsfreie Elektronenstrahlmethode, die eine qualitative und quantitative Elementidentifikation erlaubt.
- Besonders bei streifendem Einfall der Primärelektronen ist die AES oberflächenspezifisch und daher zur Charakterisierung von sehr dünnen Schichten geeignet [3].
- Mittels AES können alle Elemente außer H und He nachgewiesen werden.
- Die Nachweisgrenze liegt bei ungefähr einem Atomprozent. Das bedeutet wegen der hohen Oberflächenspezifität eine Nachweisgrenze von 10^{-2} Monolagenbedeckung.
- Die genaue Analyse der Energien der Auger-Elektronen sowie die Linienform der Augerspektren erlauben Rückschlüsse auf die chemische Bindung der analysierten Atomsorten. Die chemische Bindung führt zu teilweiseem Ladungstransfer und dadurch zu einer Änderung der Bandstruktur, wodurch alle Energien verschoben werden (*chemical shift*).

2.3 Experimente

Es wurden $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Te}$ -Proben epitaktisch auf GaAs hergestellt. Um homogenere Proben zu erhalten, wurde eine ZnSe -Zwischenschicht eingebaut.

2.3.1. Bestimmung des Mg-Gehaltes mittels HRXD

Mittels HRXD wurde der Mangengehalt festgestellt. Dies geschieht mittels des *Ve-gard'schen Gesetzes*, welches besagt, daß die Gitterkonstante in ternären Verbindungen linear von x abhängt. Der Mg-Gehalt berechnet sich mit Hilfe dieses Gesetzes wie folgt:

$$x = \frac{\frac{2\lambda}{\sin \theta} - d_{\text{ZnTe}}}{d_{\text{MgTe}} - d_{\text{ZnTe}}} \quad (1)$$

λ = Verwendete Wellenlänge der Röntgenstrahlung

θ = Gemessener Winkel des Röntgenreflexes

d = Gitterkonstante der verschiedenen Materialien

Anschließend wurden die Proben zur Hälfte mit 100 Å dickem Silber bedampft und in die AES-Anlage transferiert.

2.3.2. Bestimmung der Sensitivitätsfaktoren σ

Es wurden die AES-Peaks der einzelnen Elemente vermessen. Als charakteristischer Wert dient die Peak-to-Peak Höhe im differenzierten Spektrum. Silber wird dabei als Referenzmaterial verwendet und mit einem willkürlichen Sensitivitätsfaktor von $\sigma_{\text{Ag}} = 1$ versehen. Die Sensitivitätsfaktoren berechnen sich wie folgt (zur Herleitung dieser Formeln siehe [4].):

$$\sigma_{Zn} = \frac{2}{1-x} \frac{I_{Zn}}{I_{Ag,Referenz}} \quad \sigma_{Mg} = \frac{2}{x} \frac{I_{Mg}}{I_{Ag,Referenz}} \quad \sigma_{Te} = 2 \frac{I_{Te}}{I_{Ag,Referenz}}$$

Hierbei sind: I_y Intensität des Peaks des Materials y

x Mg-Gehalt der Probe

σ_y Sensitivitätsfaktor der Materials y

Weitere Auger-Untersuchungen bezogen sich auf das Verhältnis der Te-Peakhöhen.

3. Ergebnisse

3.1 Abhängigkeit der Sensitivitätsfaktoren vom Mg-Gehalt

Die Ergebnisse für die Sensitivitätsfaktoren sind in Abb. 2 dargestellt.

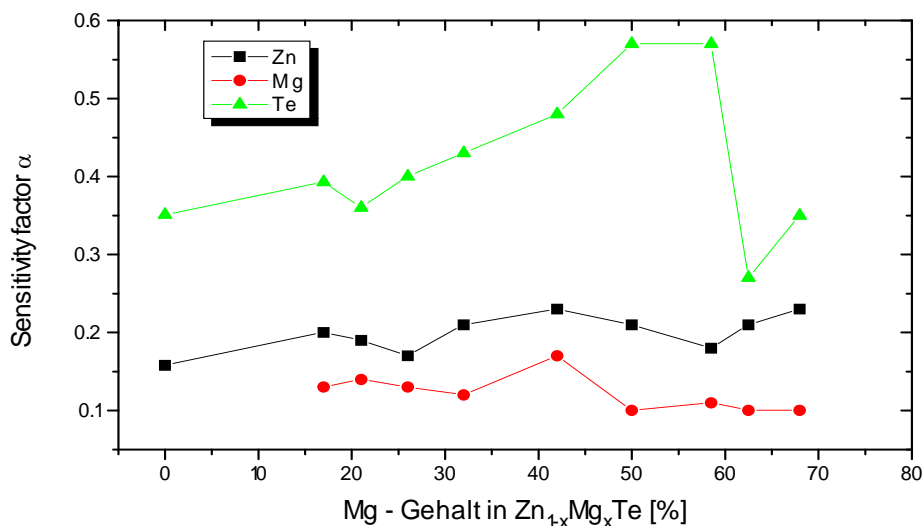


Abb. 2: Abhängigkeit der Sensitivitätsfaktoren vom Mg-Gehalt der ZnMgTe Proben

Auffällig ist die große Änderung der Empfindlichkeit für das Element Tellur im Vergleich zu Zink und Magnesium. Dies kann wie folgt erklärt werden. Der Mg-Übergang beinhaltet keine Elektronen aus der Valenzschale des Atoms. Er merkt daher wenig von der geänderten Zusammensetzung der Probe. Der Zn-Übergang beinhaltet zwar Elektronen aus der Valenzschale, hinzu kommt aber die Tatsache, daß im fcc-Gitter, in dem die Kristalle gewachsen sind, Zn und Mg nur übernächste Nachbarn sind, das heißt, es gibt keine direkte Verbindung zwischen Mg und Zn und die direkten Nachbarn von Zn bleiben gleich (4 Te-Atome). Anders verhält es sich beim Tellur, dessen Valenzelektronen sehr wohl die Veränderung der chemischen Umgebung merken und daher in der Intensität des Auger-Übergangs stark variieren.

3.2 Für das Wachstum relevante Parameter

Die für die Kristallzucht wichtige Aussage ist das Verhältnis der Peakintensitäten der einzelnen Elemente zueinander, da hiermit eine schnelle und eindeutige Bestimmung der Zusammensetzung der ternären Verbindung möglich ist. Die Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt.

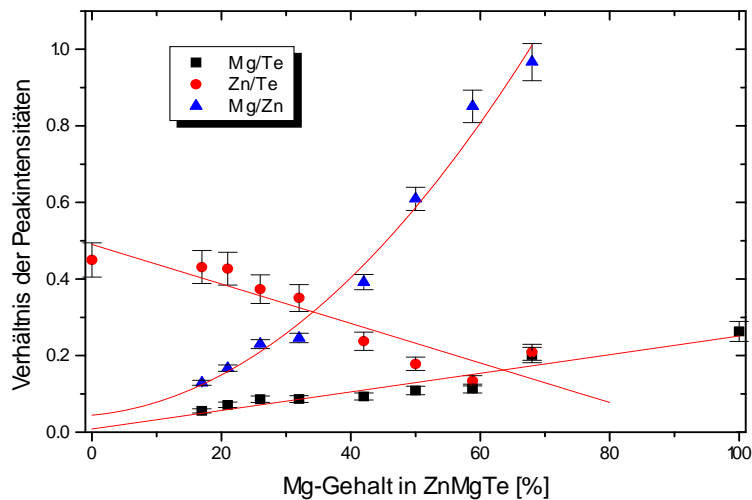


Abb. 3: Relative Intensitäten der Elemente-Peaks in Abhängigkeit der Zusammensetzung.

Literaturverzeichnis

- [1] H.J. Dudek; Auger-Elektronen-Mikroanalyse - Grundlagen und Anwendungen, in: M. Grasserbauer, H.J. Dudek, M.F. Ebel (eds): „Angewandte Oberflächenanalyse“; Springer Verlag, Heidelberg; 1986.
- [2] R. von Criegern; Scanning Auger Electron Spectroscopy; in: M.Grasserbauer, H.W. Werner (eds): „Analysis of Microelectronic Materials and Devices“; John Wiley & Sons, New York; 1991.
- [3] R. Shimizu, JJAP **22**(11), 1983, pp 1631-1642.
- [4] W. Märzinger: „Protokoll zum Praktikum II aus Festkörperphysik“, Universität Linz, WS1994/95 (unveröffentlicht).