

Auger-Elektronenspektroskopie zur Charakterisierung von Epitaxieschichten

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

1. Einleitung

Bei der Realisierung von optoelektronischen Bauelementen, wie etwa Solarzellen oder Detektoren, zeichnet sich in den letzten Jahren ein neuer Trend ab, die sogenannte *monolithische Integration*. Darunter versteht man, daß die optische Signalaufnahme/-abgabe und die elektronische Signalverarbeitung in einem Bauteil stattfinden. Eine Möglichkeit der Realisierung ist die Verbindung der für optoelektronische Prozesse geeigneten II-VI-Verbindungshalbleiter mit dem in der Schaltungstechnik höchstentwickeltem Silizium. Einem erfolgreichen epitaktischen Wachstum solcher Schichtsysteme stehen mehrere Probleme im Weg [1]:

- Große Gitterfehlpassung.
- Große chemische und elektrische Unterschiede zwischen den polaren II-V Verbindungen und dem unpolaren Substrat.
- Große Unterschiede in den thermischen Ausdehnungskoeffizienten.
- Dreidimensionale Keimbildung aufgrund der schwachen Bindungen zwischen dem Substrat und den Epitaxieschichten.
- Chemische Verbindungen, die aus Substratatomten und aus Atomen der Epitaxieschicht bestehen, können zur Störung des epitaktischen Wachstums führen.

Zur Lösung obengenannter Probleme ist es notwendig, den Chemismus an der Grenzfläche zwischen dem Substrat und der Epitaxieschicht genau zu kennen. Als eine Methode zum Studium von diesem Chemismus bietet sich die *Auger-Elektronenspektroskopie* (AES) an.

2. Auger-Elektronenspektroskopie als Charakterisierungsmethode

Aus folgenden Gründen eignet sich die AES zur Analyse von epitaktischen Schichtsystemen [2], [3]:

- Die AES ist eine zerstörungsfreie Elektronenstrahlmethode, die eine qualitative und teilweise quantitative [4] Elementidentifikation erlaubt.
- Besonders unter streifendem Einfall der Primärelektronen ist die AES oberflächenspezifisch und daher zur Charakterisierung von sehr dünnen Filmen und Interfaces geeignet.
- Mittels AES können alle Verunreinigungen an Oberflächen analysiert werden, da sie für alle Elemente außer für H und He empfindlich ist.
- Die Nachweisgrenze liegt bei Konzentrationen von 0.1 bis 1 Atomprozent und wegen der hohen Oberflächenspezifität daher bei 10^{-3} bis 10^{-2} Monolagenbedeckung.
- Der fein fokussierte Elektronenstrahl kann über die Oberfläche gerastert werden. Mit der sogenannten *Scanning Auger Microscopy* (SAM) kann eine laterale Auflösung im Sub-

mikrometerbereich erzielt werden, was den Nachweis von Clustern oder Inseln an der Oberfläche ermöglicht.

- Der unmittelbare Vergleich von Sekundärelektronenabbildungen mit Elementverteilungsbildern erlaubt die chemische Analyse von Defekten an der Oberfläche.
- Die Tiefenauflösung liegt, abhängig von der Sputtertiefe, bei 2 nm bis 100 nm, womit Supergitterstrukturen klar zu analysieren sind. Es ist damit möglich, in Mehrschichtsystemen von Verbindungshalbleitern die Schärfe der Zwischenschichten und Interdiffusionseffekte, welche während des Wachstums auftreten, zu untersuchen.
- Die genaue Analyse der Energie der Auger-Elektronen sowie der Linienform der Auger-Spektren erlaubt Rückschlüsse auf die chemische Bindung der analysierten Atomsorten. Die chemische Bindung führt zu teilweiseem Ladungstransfer und dadurch zu einer Verschiebung der Core-levels, wodurch alle Energien verschoben werden (*chemical shift*). Eine Änderung des Energieverlustmechanismus aufgrund der Umgebung des emittierenden Atoms führt zu einer Änderung der Linienform im Auger-Spektrum auf der niederenergetischen Seite.
- In Verbindung mit einer Sputtereinrichtung können Tiefenverteilungen von Elementen aufgenommen werden.



Abb. 1: Tiefenprofilanalyse einer Überstruktur; aus [2]

3. Experimenteller Aufbau

Um die oben aufgezählten Untersuchungsmethoden durchführen zu können, wurde eine Analysekommer entworfen, die in Abb. 2 schematisch dargestellt ist.

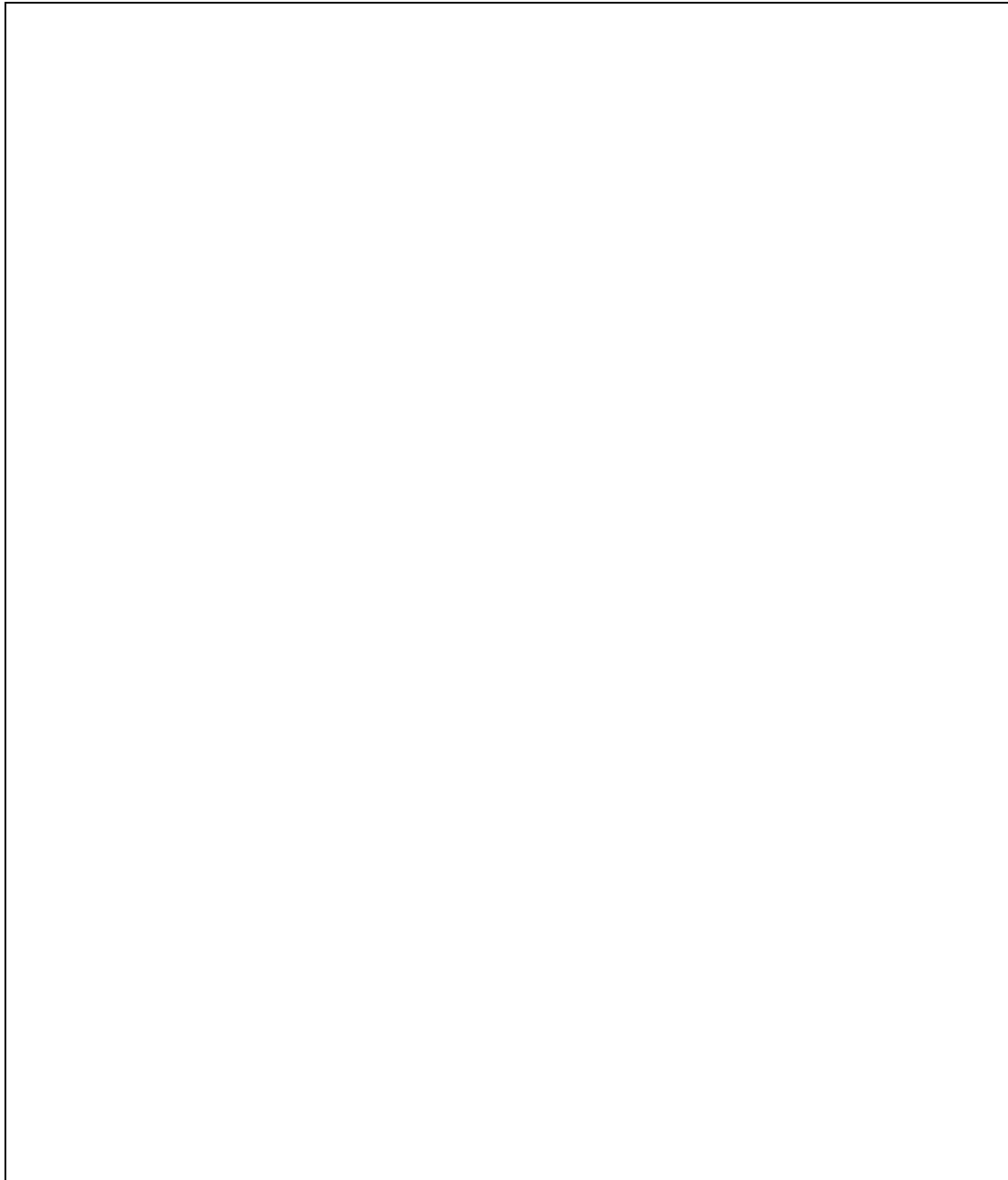


Abb. 2: Querschnitt der Analysechamber (Eigenkonstruktion)

Um die unter Punkt zwei genannten Vorteile der AES voll nutzen zu können, sind folgende Komponenten erforderlich:

- Energieanalysator (Cylindrical Mirror Analyzer (CMA) oder Retarding Field Analyzer (RFA)).
- Elektronenquelle mit einer Spotgröße kleiner als $1\ \mu\text{m}$.
- Sekundärelektronendetektor.
- Ionenquelle (für Sputterprozesse).
- Steuereinheit zum Rastern des Elektronen- und Ionenstrahls über die Probe (Scanning Auger Microscopy (SAM)).

4. Forschungsziele

Im Rahmen des von der GME geförderten Projekts sind folgende Arbeiten geplant, wobei im ersten Jahr vor der Fertigstellung der Analysekommer umfangreiche Vorbereitungsarbeiten notwendig sind, die mit den vorhandenen Mitteln durchgeführt werden können.

4.1. Vorbereitung des Substrats

Für das Gelingen epitaktischer Wachstumsprozesse von Verbindungshalbleitern auf Si ist vor allem eine sehr saubere Substratoberfläche wichtig. Mit Hilfe der AES können sämtliche Verunreinigungen bis auf weinige Promille einer Atomlage festgestellt werden. Es kann dadurch die optimale Substratvorbehandlung herausgefunden werden.

4.2. Interfaceuntersuchungen am Beginn des Wachstums

Mit Hilfe der AES und von SAM soll vor allem das Nukleationsstadium untersucht werden. Mittels SAM kann ein eventuelles Auftreten von Inselwachstum, sowie eine Clusterbildung an der Substratoberfläche nachgewiesen werden. Es sollen dabei die Parameter gefunden werden, die ein perfektes Schichtwachstum ermöglichen.

4.3. Überwindung der Gitterfehlanspassung

Eine Möglichkeit, die Gitterfehlanspassung zu überwinden, ist, ternäre Verbindungen (z.B.: $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$) herzustellen, wobei bei entsprechendem x eine exakte Anpassung an das Substrat möglich ist. Ausgehend davon soll mittels graduierten Übergängen (das heißt mit variablem x senkrecht zur Wachstumsfront) letztlich die interessierende II-VI-Epitaxieschicht gewachsen werden, wobei die variablen Konzentrationen der Elemente mittels Tiefenprofilanalyse untersucht werden.

Literaturverzeichnis

- [1] R. D. Bingans, D. K. Biegelsen, L.-E. Swartz, F. A. Ponce, J. C. Tramontana; *Phys. Rev. B.* **45** (23), p.13400; 1992
- [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] 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
- [4] M. Callier, J. P. Ganachaud, D. Roptin; *Quantitative Auger Electron Spectroscopy*, in: P. W. Hawkw (ed.); *Advances in Electronic and Electron Physics*, Vol 61, pp 161-298; Academic Press; 1983