

Scatterometrie an Kreuzgitterstrukturen

Thomas Schuster*, Jochen Kauffmann*, Norbert Kerwien*, Hans J. Tiziani*, Wolfgang Osten*
Peter Reinig**

*Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

**Qimonda, Dresden

schuster@ito.uni-stuttgart.de

Scatterometrie hat sich als eine wesentliche Säule der Prozesskontrolle in der Halbleitertechnologie etabliert. Das Verfahren wird zunächst erläutert. Die Möglichkeiten des erweiterten Simulationstools MicroSim des ITO (Institut für Technische Optik) werden an praxisrelevanten, hochkomplexen Kreuzgitterstrukturen demonstriert.

1 Einführung

Der Begriff Scatterometrie wird heute vielfach für die polarisationsaufgelöste Reflexionsmessung an Nanostrukturen verwendet. Einen Überblick über die Methode bietet [1], ältere Arbeiten der Autoren sind [2] und [3].

Das Prinzip der Scatterometrie besteht darin, gemessene und simulierte Spektren von polarisationsoptischen Größen zu vergleichen und aus dem Vergleich Strukturparameter zu rekonstruieren.

Nanostrukturen ändern die Polarisation des Lichts. Allgemein lässt sich für nicht depolarisierende Wechselwirkungen die Änderung eines Polarisationszustandes durch das Jones-Matrix-Kalkül beschreiben:

$$\begin{bmatrix} E_{p,out} \\ E_{s,out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{pp} & J_{ps} \\ J_{sp} & J_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{p,in} \\ E_{s,in} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Der elektrische Feldvektor E einer einfallenden ebenen Welle, beschrieben in einem lokalen Koordinatensystem mit Achsen parallel (p) und senkrecht (s) zur Einfallsebene wird durch die Jones-Matrix J in den elektrischen Feldvektor der reflektierten bzw. gebeugten ebenen Welle transformiert. Liegen Ein- und Ausfallsrichtung in einer Symmetrieebene der Struktur, dann wird die Jonesmatrix diagonal und die ellipsometrischen Winkel können über die Beziehung

$$\tan \Psi e^{i\Delta} = J_{pp} / J_{ss} \quad (2)$$

definiert werden. Im Fall nicht-diagonaler Jonesmatrizen können entweder verallgemeinerte Größen wie Jones- oder Mueller-Matrix-Elemente als Messgrößen herangezogen werden, oder aber ellipsometrische Winkel als reine Messgrößen eines bestimmten Ellipsometers in einer bestimmten Konfiguration. Die ellipsometrischen Winkel

verlieren dann aber ihre Bedeutung als eindeutig einer Probe zuzuordnenden Größen, die deren polarisierendes Verhalten vollständig beschreiben.

Verschiedene Ausprägungen der Scatterometrie sind:

- Spektralellipsometrie: Einfallswinkel konstant, oft nahezu streifend, Wellenlänge wird variiert
- 2θ -Scatterometrie: Wellenlänge konstant, Einfallswinkel (Polarwinkel) wird variiert
- ϕ -Scatterometrie: Azimutwinkel der Einfallrichtung $\phi \neq 0$

2 Das Simulationstool MicroSim am ITO

Um Scatterometrie an Kreuzgitterstrukturen zu simulieren, wurde das am ITO entwickelte und seit einigen Jahren verwendete Simulationstool MicroSim [4] weiterentwickelt. MicroSim simuliert Gitterbeugung mittels der RCWA (rigorous coupled wave analysis).

Nach den jüngsten Erweiterungen können nun auch Kreuzgitterstrukturen in voller Allgemeinheit simuliert werden. Das Aspektverhältnis der Elementarzelle ist ebenso beliebig wie die Anzahl der in beiden Richtungen der periodischen Fortsetzung berücksichtigen Fourier-Koeffizienten. Außerdem können beliebig geformte Gebiete innerhalb der Elementarzelle realisiert werden.

3 Praxisrelevante Beispiele von hochkomplexen Strukturen

Als Beispiel soll eine asymmetrische Struktur von Qimonda betrachtet werden. Abb. 1 zeigt ein SEM-Bild einer Elementarzelle von oben, das hieraus abgeleitete RCWA-Modell für eine Schicht sowie das RCWA-Modell im Querschnitt. Wesentliche Merkmale sind eine elliptische Ätzung und eine asymmetrische Ätzung in einer darunter liegenden Schicht. Die Strukturgrößen bewegen sich im Bereich von wenigen zehn Nanometern.

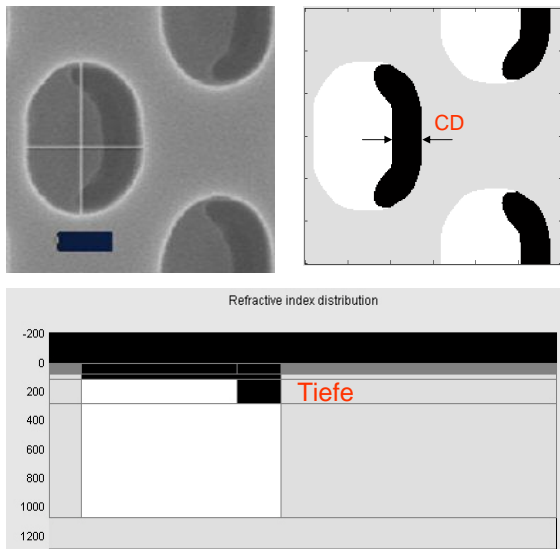


Abb. 1 Asymmetrische Qimonda Struktur

Mögliche Messgrößen für scatterometrische Rekonstruktionen sind die Tiefe oder die Breite (CD) der asymmetrischen Ätzung. Abb. 2 zeigt, eine simulierte Kurvenschar für den ellipsometrischen Winkel $\tan\Psi$ mit Einfallswinkel $\theta=71.6^\circ$ und Azimutwinkel $\phi=0^\circ$. Die beiden hervorgehobenen Merkmale in der Kurvenschar zeigen eine Sensitivität auf die Tiefe der Ätzung. Weiterhin zeigen sie keine Sensitivität auf Variation sonstiger Parameter, was hier aus Platzgründen nicht gezeigt werden kann.

Dies bedeutet aber auch, dass eine Messung der CD in dieser Konfiguration nicht möglich ist. Abb. 3 zeigt dagegen Simulationsergebnisse für einen neuartigen Ansatz, den ϕ -Scan. Bei konstanter Wellenlänge wird der Azimutwinkel variiert, was einem Drehen der Probe um ihre eigene Achse entspricht. Die gezeigten Spektren zeigen Aussicht auf eine Messbarkeit der CD in dieser Anordnung.

Abb. 4 zeigt den Vergleich zwischen gemessenen Spektren unter Verwendung zweier verschiedener Geräte sowie eines simulierten Spektrums. Bei Qimonda wurden Messungen mit einem Spektralellipsometer vom "Rotating Polarizer" Typ durchgeführt, am ITO mit einem phasenmodulierenden Ellipsometer. Wesentliche Merkmale stimmen zwischen der bei Qimonda gemessenen und der simulierten Kurve überein. Allerdings können nicht alle Merkmale perfekt wiedergegeben werden, da offenbar eine genauere Modellierung der Struktur notwendig wäre. Die beiden gemessenen Kurven zeigen zwar eine exakte Übereinstimmung in Feinstrukturmerkmalen, aber offenbar ist das am ITO gemessene Spektrum noch von systematischen Abweichungen überlagert. Diese könnten auf eine Verdrehung der Probe zurückzuführen sein.

Die vorgestellten Arbeiten wurden vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 01M3154D gefördert.

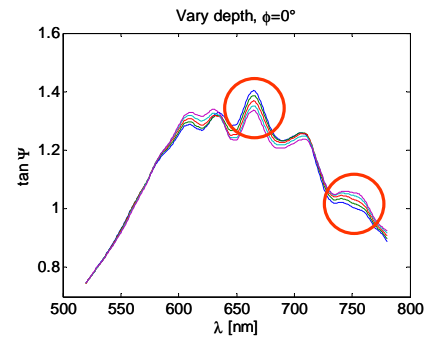


Abb. 2 Sensitivität auf die Tiefe

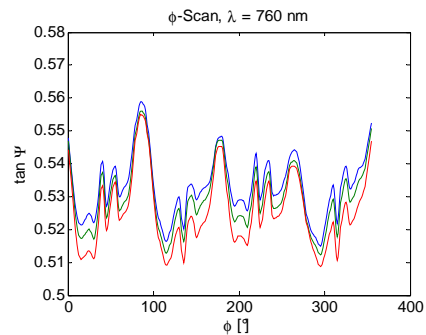


Abb. 3 ϕ -Scan bietet Aussicht auf CD Messung

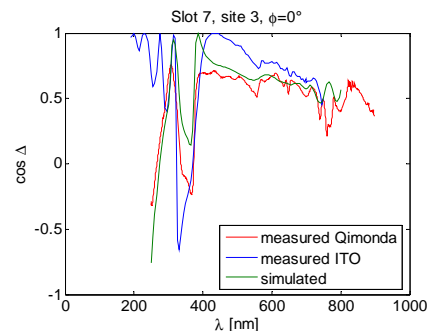


Abb. 4 Vergleich Messung Simulation

Literatur

- [1] C. Raymond: „Overview Of Scatterometry Applications In High Volume Silicon Manufacturing" in *Characterization and Metrology for ULSI Technology 2005*, D.G. Seiler et al. (Hrsg.) 394-402 (2005)
- [2] P. Reinig P., R. Dost R., M. Mört, T. Hingst, U. Mantz, T. Schuster, N. Kerwien, J. Kauffmann, W. Osten: „Potential and limits of scatterometry: A study on bowed profiles and high aspect ratios", *2nd European Scatterometry Workshop* (2004)
- [3] T. Schuster, N. Kerwien, W. Osten, P. Reinig, M. Moert, T. Hingst, U. Mantz: „Effect of linewidth fluctuations and sidewall roughness in scatterometry", *Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO Europe)* (2005)
- [4] M. Totzeck: „Numerical simulation of high-NA quantitative polarization microscopy and corresponding near-fields", *Optik* **112** (9), 399-406 (2001)