

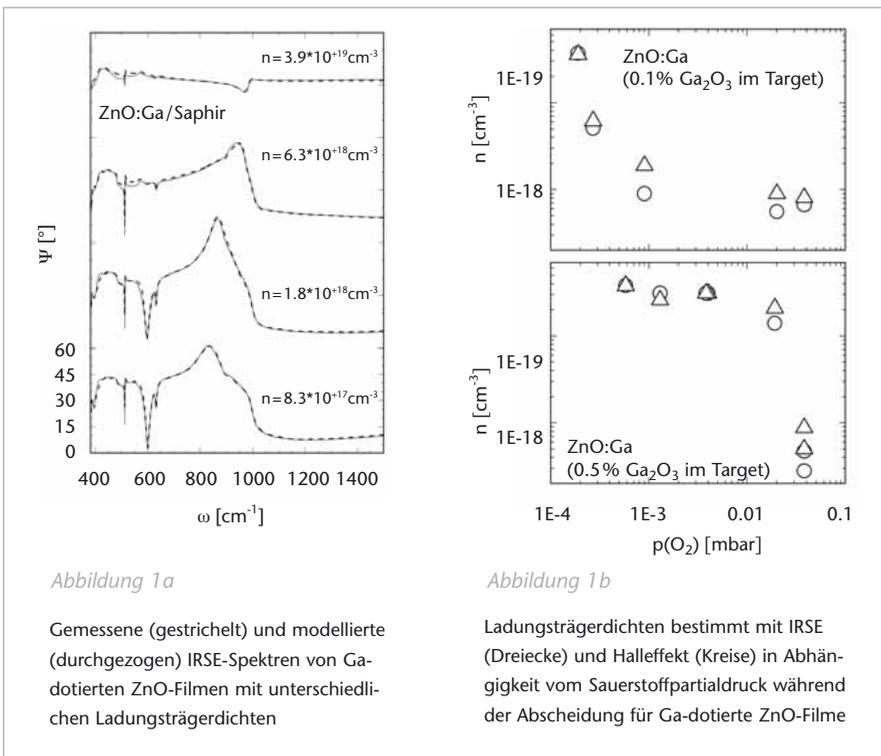
Optische Bestimmung der Eigenschaften freier Ladungsträger in ZnO-Dünnschichten mittels spektroskopischer Infrarotellipsometrie

C. Bundesmann
bundesm@physik.
uni-leipzig.de

M. Schubert
H. v. Wenckstern
M. Lorenz
M. Grundmann
Universität Leipzig

Im vorliegenden Beitrag wird die spektroskopische Infrarotellipsometrie (IRSE) als neuartige Untersuchungsmethode zur Bestimmung der Eigenschaften freier Ladungsträger in ZnO-Filmen vorgestellt. Im Gegensatz zu elektrischen Hall-effektmessungen haben optische Methoden den Vorteil, dass sie kontakt- und zerstörungsfrei arbeiten. Darüber hinaus erlaubt die spektroskopische Ellipsometrie (SE) den Nachweis von Inhomogenitäten und Anisotropien von Ladungsträgereigenschaften und die Untersuchung von Teilschichten in Heterostrukturen. Die SE bestimmt die Änderung des Polarisationszustands bei Reflexion (oder Transmission) an einer Probe. Über eine Linienformanalyse unter Zuhilfenahme von modell-dielektrischen Funktionen werden die dielektrischen Funktionen und Dicken von Dünnschichten bestimmt und relevante Parameter quantifiziert. Im infraroten Spektralbereich dominieren die Beiträge der Gitterschwingungen (Phononen) und freien Ladungsträger (Plasmonen).

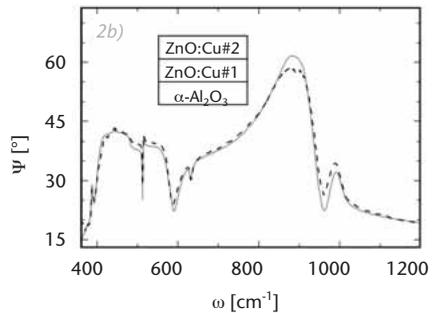
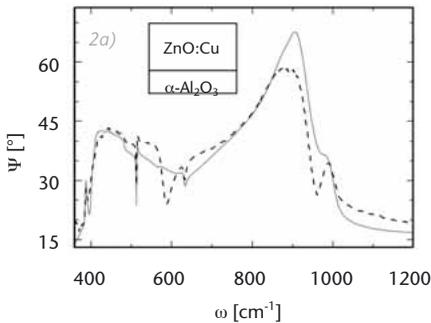
In *Abb. 1a* sind Spektren des ellipsometrischen Parameters Ψ für Ga-dotierte ZnO-Filme mit unterschiedlichen Ladungsträgerkonzentrationen auf Saphir gezeigt. Beiträge der Phononen der ZnO-Filme und des Saphirsubstrates sind erkennbar, zum Beispiel bei $\omega \sim 600 \text{ cm}^{-1}$ beziehungsweise 500 cm^{-1} und 650 cm^{-1} . Mit zunehmenden Ladungsträgerdichten werden diese Strukturen abgeschirmt und



schwächer. Der Vergleich der Ladungsträgerdichten aus der IRSE-Analyse mit Halleffekt-Ergebnissen ergab eine sehr gute quantitative Übereinstimmung (*Abb. 1b*). Die optischen Beweglichkeiten aus der IRSE-Analyse und die Hall-Beweglichkeiten stimmten qualitativ überein. Quantitative Unterschiede haben Ihre Ursachen in unterschiedlichen Streumechanismen, die in den beiden Experimenten dominieren. Zusätzlich wurde festgestellt, dass die optischen Beweglichkeiten anisotrop sind. Die optische Beweglichkeit senkrecht zur [0001]-Richtung ist hier stets größer als die optische Beweglichkeit in der [0001]-Richtung.

Abbildung 2a, 2b
 Gemessene (gestrichelt) und modellierte (durchgezogen) IRSE-Spektren eines Cu-dotierten ZnO-Films. Die modellierten Daten wurden unter Annahme einer einzelnen, homogenen Schicht (a) beziehungsweise zwei Teilschichten #1 und #2 mit unterschiedlichen Ladungsträgerbeiträgen (b) erhalten.

In Abb. 2 sind die Ellipsometriespektren eines Cu-dotierten ZnO-Films auf Saphir gezeigt. Die IRSE-Analyse unter Annahme einer homogenen Schicht konnte nicht gleichzeitig die Beiträge der Phononen bei $\omega \sim 600 \text{ cm}^{-1}$ und der Plasmonen zwischen $\omega \sim 700 \text{ cm}^{-1}$ und $\omega \sim 900 \text{ cm}^{-1}$ anpassen (Abb. 2a). Die Ursache dafür ist eine inhomogene Verteilung der Ladungsträger. Unter Annahme von zwei Teilschichten mit unterschiedlichen Ladungsträgerbeiträgen (Teilschicht #1: $n = 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $\mu^{\text{opt}} = 20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$; Teilschicht #2: Ladungsträgerdichte unterhalb des IRSE-Detektionsvermögens von $n \sim 1\text{-}5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) ließen sich die experimentellen Daten anpassen (Abb. 2b). Alle hier untersuchten ZnO-Filme wurden mit PLD auf Saphirsubstraten abgeschieden.



Literatur

- [1] M. Schubert, Infrared Ellipsometry on Semiconductor Layer Structures (Springer, Berlin, 2004).
- [2] N. Ashkenov et al., J. Appl. Phys. 93, 126 (2003).
- [3] C. Bundesmann, Dissertation (Universität Leipzig), eingereicht 2005.