

# Bestimmung von freien Ladungsträger-Parametern und Phononen-Eigenschaften hexagonaler GaN-Filme mittels IR-Ellipsometrie

HL27.31

A. Kasic\*, B. Rheinländer

M. Schubert

S. Einfeldt, D. Hommel

B. Kuhn, J. Off, F. Scholz

\*E-mail: pge95ipi@studserv.uni-leipzig.de



Universität Leipzig, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Abteilung Halbleiterphysik, 04103 Leipzig



University of Nebraska-Lincoln, Center for Microelectronic and Optical Materials Research, NE 68588-0511 Lincoln, USA



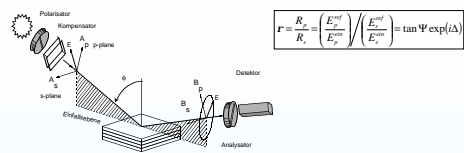
Universität Bremen, Institut für Festkörperphysik, Fachbereich 1, 28359 Bremen



Universität Stuttgart, 4. Physikalisches Institut, Kristalllabor, 70550 Stuttgart

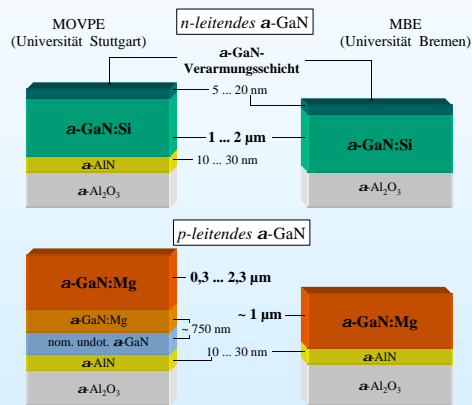
Unterstützung durch Deutsche Forschungsgemeinschaft Projekt Rh 28-3/1 und NSF contract DMI-9901510 (USA)

## Infrarot-Spektral-Ellipsometrie (IRSE)



$$r = \frac{R_{\perp}}{R_{\parallel}} = \frac{E_{\perp}^{refl}}{E_{\parallel}^{refl}} \left/ \frac{E_{\perp}^{inc}}{E_{\parallel}^{inc}} \right. = \tan \Psi \exp(i\Delta)$$

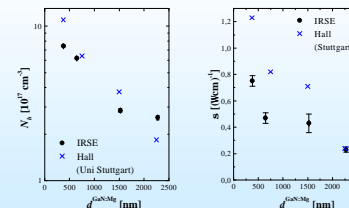
## Probenaufbau



## Aktuelle Resultate

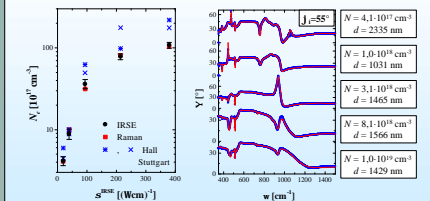
- Effektive Träger-Masse in *n*- und *p*-leitendem *a*-GaN
  - Störmoden und Oberflächen-Verarmungsschicht in hoch Si-dotiertem *a*-GaN
  - Abhängigkeit der Löcherkonzentration und der elektr. Leitfähigkeit von der Schichtdicke in *p*-dotiertem *a*-GaN
  - Hervorragende Übereinstimmungen bei der Bestimmung der FLT-Konzentration zwischen IRSE- und Raman-Experimenten in *n*-leitendem *a*-GaN
  - Phononen und FLT-Parameter in *p*-leitendem *b*-GaN
- Besten Dank an Herrn HD Dr. D. J. As, Universität Paderborn.

## Dickenabhängigkeit der Löcherkonzentration in *p*-dotiertem *a*-GaN



→ Hinweis auf starke Konzentrationsgradienten innerhalb der *p*-dotierten *a*-GaN-Schicht

## Hervorragende Übereinstimmung von IRSE- und Raman-Experiment



- Die mit IRSE und Raman-Spektroskopie bestimmten *N*-Werte stimmen hervorragend miteinander überein.
- Die Gesamtunsicherheit für *N* ist bei IRSE deutlich geringer als bei Hall-Messungen.

## Effektive Träger-Masse in *n*- und *p*-leitendem *a*-GaN

### Hoch *n*-leitendes *a*-GaN:

- Die starke Plasmon-Phonon-Kopplung erlaubt die Bestimmung von *N*-*m*<sup>\*</sup> und *N*-*μ* mit hoher Genauigkeit.
- Ist *N* hinreichend genau bekannt (Hall-Messungen), kann *m*<sup>\*</sup> bestimmt werden:

Für  $N_H^{Hall} = 1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ :

$$m_{e,h}^* / m_0 = 0,228 \pm 0,008 \quad m_{e,\alpha}^* / m_0 = 0,237 \pm 0,006$$

keine signifikante Anisotropie!

### *p*-leitendes *a*-GaN:

- Schwache Plasmon-Phonon-Kopplung wegen geringer Konzentration und großer effektiver Masse der Löcher im Vergleich zu Elektronen.

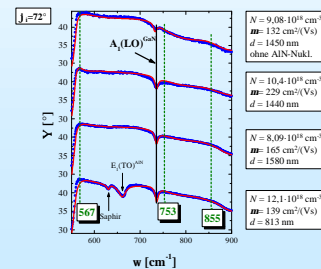
$N_H^{Hall}$ [10 <sup>19</sup> cm <sup>-3</sup> ]	$m_h^*$ [m <sub>0</sub> ]
0,5	0,74 ± 0,16
8	1,40 ± 0,33
10	1,01 ± 0,09

IRSE besitzt keine Sensitivität auf Anisotropie

Wir danken Dr. V. Riede für wertvolle Diskussionen sowie U. Teschner und H.-J. von Hofe (alle Universität Leipzig) für die Durchführung der Hall- und Raman-Messungen.

## Störmoden und Oberflächen-Verarmungsschicht in hoch Si-dotiertem *a*-GaN

- Die Existenz der ungekoppelten *A*<sub>1</sub>(LO)-Mode von *a*-GaN wird erklärt durch eine 5 ... 20 nm dicke Oberflächen-Verarmungsschicht, die mit wachsender Volumen-Trägerkonzentration dünner wird.
- 3 schwach polare, IR-aktive Störmoden bei 567 cm<sup>-1</sup>; unordnungsaktivierte E<sub>2</sub>(<sup>2</sup>), GaN; 753 cm<sup>-1</sup>; ?; 855 cm<sup>-1</sup>; akustisch-optische Kombination [2]
- Unabhängig von der Art und vom Grad der Dotierung treten bei 1278 cm<sup>-1</sup> und 1308 cm<sup>-1</sup> weitere Moden (opt. Kombinationen, [2]) auf.

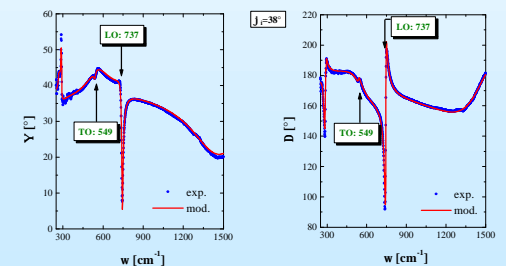


[2] H. Siegle, G. Kacmarczyk, L. Hilgendorf, A. P. L'Évêque, A. Hoffmann, C. Thomsen, Phys. Rev. B 55, 7009 (1997)

## Phononen und FLT-Parameter in *p*-leitendem *b*-GaN

Wir danken Herrn HD Dr. D. J. As, Universität Paderborn, für die freundliche Bereitstellung der *b*-GaN-Probe.

<i>p</i> -leitendes <i>b</i> -GaN	840 nm	<i>N</i> [cm <sup>-3</sup> ]	5,02 (±0,53) · 10 <sup>17</sup>
		$\bar{f}_y$	5,02 (±0,03)
		$\bar{w}_{TO}$ [cm <sup>-1</sup> ]	549,0 (±0,2)
		$\bar{f}_{TO}$ [cm <sup>-1</sup> ]	11,3 (±0,4)
		$\bar{w}_{LO}$ [cm <sup>-1</sup> ]	736,9 (±0,4)
		$\bar{f}_{LO}$ [cm <sup>-1</sup> ]	1690 (±170)
		$\bar{f}_{TO}$ [cm <sup>-1</sup> ]	14,4 (±0,1)
		$\bar{f}_{LO}$ [cm <sup>-1</sup> (Vs)]	7,5 (±0,8)
		<i>d</i> [nm]	842 (2) [Inhom. 14,4 %]



## Modell-Dielektrische-Funktion

Gruppe III - Nitride: Verallgemeinertes 4-Parameter-Semi-Quantum-Modell [1]

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_{\infty} - \frac{N_e e^2}{m_e^* (\omega^2 - \omega_{TO}^2 - i\gamma_{TO})} - \frac{N_h e^2}{m_h^* (\omega^2 - \omega_{LO}^2 - i\gamma_{LO})} + \frac{N_{LPP} e^2}{m_{LPP}^* (\omega^2 - \omega_{LPP}^2 - i\gamma_{LPP})}$$

TO-Frequenz, TO-Verbreiterung; Plasmon-Dämpfung  
 Frequenz, Verbreiterung der LPP-Kopplungsmoden; effektive Trägermasse  
 optische Trägerbeweglichkeit

*a*-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; siehe M. Schubert, T.E. Tiwald, C.M. Herzinger, Phys. Rev. B 61, X [March 15, 2000]

[1] A. Kulkarni, Solid State Comm. 13, 1761 (1973)