

# 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



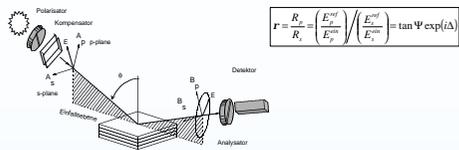
Universität Bremen, Institut für Festkörperphysik, Fachbereich 1, 28359 Bremen



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

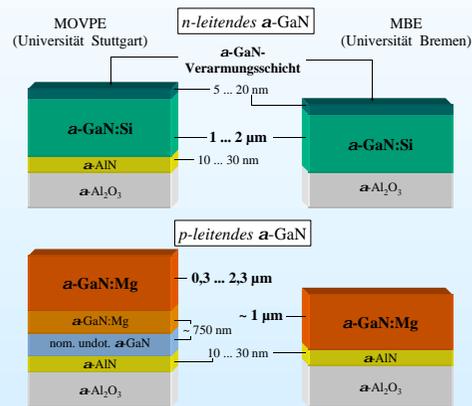
Unterstützung durch Deutsche Forschungsgemeinschaft Projekt Rh 28-3/1 und NSF contract DMI-9901510 (USA)

## Infrarot-Spektral-Ellipsometrie (IRSE)



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

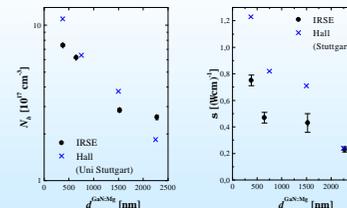
## Probenaufbau



## Aktuelle Resultate

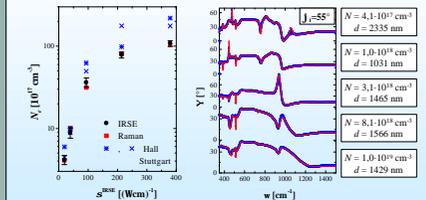
- Effektive Träger-Masse in *n*- und *p*-leitendem *a*-GaN
  - Störmoden und Oberflächen-Verarmungsschicht in hoch Si-dotiertem *a*-GaN
  - Abhängigkeit der Löcherkonzentration und der elektr. Leitfähigkeit von der Schichtdicke in *p*-dotiertem *a*-GaN
  - Hervorragende Übereinstimmungen bei der Bestimmung 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  $N \cdot m^*$  und  $N \cdot \mu$  mit hoher Genauigkeit.
- Ist  $N$  hinreichend genau bekannt (Hall-Messungen), kann  $m^*$  bestimmt werden:

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

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

keine signifikante Anisotropie!

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

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

$N_H^{Hall}$ [ $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ]	$m_h^*$ [ $m_0$ ]
0,5	0,74 ± 0,16
8	1,40 ± 0,33
10	1,01 ± 0,09

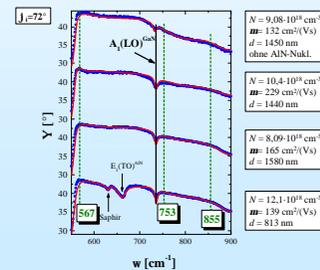
IRSE besitzt keine Sensitivität auf Anisotropie

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  $A_1(\text{LO})$ -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  $\text{cm}^{-1}$ ; unordnungsaktivierte  $E_2(2)$ , GaN; 753  $\text{cm}^{-1}$ ; ?; 855  $\text{cm}^{-1}$ ; akustisch-optische Kombination [2]

- Unabhängig von der Art und vom Grad der Dotierung treten bei 1278  $\text{cm}^{-1}$  und 1308  $\text{cm}^{-1}$  weitere Moden (opt. Kombinationen, [2]) auf.

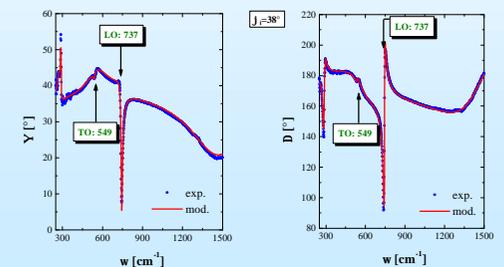


[2] H. Siegle, G. Kacmarczyk, L. Hilgolds, A. P. L'Évêque, A. Hoffmann, C. Thomsen, Phys. Rev. B 55, 7009 (1997)

## 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.

$N$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$5,02 (\pm 0,53) \cdot 10^{17}$
$\bar{f}_y$	$5,02 (\pm 0,03)$
$\bar{W}_{TO}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	$549,0 (\pm 0,2)$
$\bar{f}_{TO}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	$11,3 (\pm 0,4)$
$\bar{W}_{LO}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	$736,9 (\pm 0,4)$
$\bar{f}_{LO}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	$1690 (\pm 170)$
$\bar{f}_{LO}$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	$14,4 (\pm 0,1)$
$\mu$ [ $\text{cm}^2/(\text{Vs})$ ]	$7,5 (\pm 0,8)$
$d$ [nm]	$842 (2)$ [Inhom. 14,4 %]



## Modell-Dielektrische-Funktion

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

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_{\infty} - \frac{N e^2}{m^* \omega^2} \frac{1}{1 + i\gamma\omega} + \frac{N_p e^2}{m_p^* \omega_p^2} \frac{1}{\omega_p^2 - \omega^2 - i\gamma_p \omega}$$

$j = \parallel, \perp$  zur c-Achse

$a$ -GaN:  $k = l = 1$

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

$a$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 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)