

Untersuchung der Phononeneigenschaften von hochgradig ungeordnetem $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ mittels Ferninfrarot Spektrelellipsometrie und Ramanspektroskopie



T. Hofmann^{#,1)}, M. Schubert¹⁾, G. Leibiger²⁾, V. Gottschalch²⁾

1) Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Festkörperphysik, Universität Leipzig, Linnéstraße 5, D-04103 Leipzig

2) Fakultät für Chemie und Mineralogie, Halbleiterchemie, Universität Leipzig, Linnéstraße 3, D-04103 Leipzig

HL 24.29

#E-mail: Tino.Hofmann@physik.uni-leipzig.de

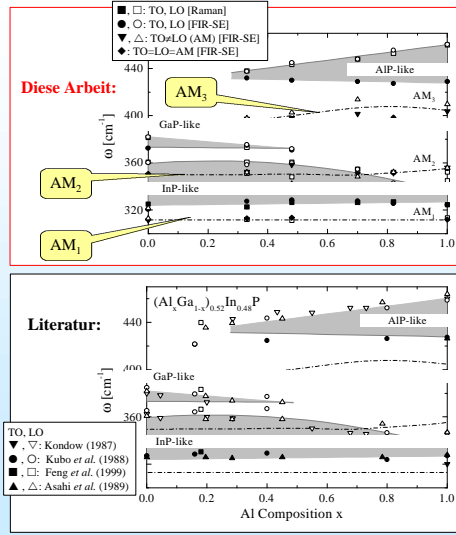
gefördert durch DFG (Rh28/3-2) und NSF (DMI-9901510)

Zusammenfassung

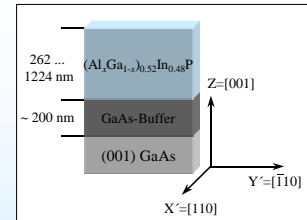
Ziel ist die Bestimmung von Komposition, Verspannung, Ordnungsgrad und Eigenschaften freier Ladungsträger anhand der Modendispersion sowie der infrarot-dielektrischen Funktion quaternärer III-V Dünnschichten.

- Es werden die Phononenmoden im quaternären und hochgradig ungeordneten $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ für $0 \dots x \dots 1$ mittels Raman-Spektroskopie und Ferninfrarot-Ellipsometrie (FIR-SE) bestimmt
- FIR-SE-Daten gestatten die vollständige Bestimmung der TO-LO Frequenzen; Raman-Daten enthalten diese nur partiell, jedoch in prinzipieller Übereinstimmung.
- Neben den Hauptbändern („InP“, „GaP“, „AlP“) existieren drei lokale Moden ($\text{AM}_1 - \text{AM}_3$) mit geringer Polarität. Die Hauptbänder entsprechen denen der binären Komponenten. AM_1 und AM_2 sind offenbar an das Vorhandensein von In und/oder P gekoppelt. AM_3 tritt nur in Proben mit Aluminium auf.
- Die Frequenzen der lokalen Moden AM_1 und AM_2 entsprechen denen in spontan CuPt-geordnetem GaInP_2 beobachteten ordnungsinduzierten Moden ($\sim 312 \text{ cm}^{-1}$ und $\sim 351 \text{ cm}^{-1}$). Für diese Frequenzen berechneten Ozoli & Zunger das Auftreten einer dispersionslosen $E_1(\text{TO})$ Mode sowie einer Mode mit A_1 Symmetrie. Offenbar ist das Auftreten von $\text{AM}_1 - \text{AM}_3$ induziert durch bereits geringe Kationenordnung.

AlGaInP-Phononen



Proben

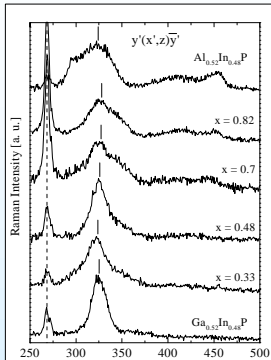


- Züchtungsparameter:
 - $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ mittels Metallorganischer-Gasphasenepitaxie bei 720°C unverspannt auf (001) GaAs mit 6° Fehlorientierung zur nächsten (111) Ga Ebene gewachsen
 - Al-Anteil $x=0, 0.33, 0.48, 0.7, 0.82$ und 1
- Charakterisierung:
 - Schichtdicken: UV-VIS Ellipsometrie
 - niedriger Ordnungsgrad: TEM und Bandlücken-eigenschaften

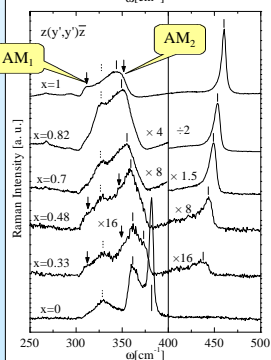
Ramanstreuenspektren

(Anregung mittels Argon-Ionenlaser: $\lambda_0=5145 \text{ \AA}$ bzw. 4579 \AA)

- Lorenzlinienfit zur Bestimmung der Spektrallage der Phononenmoden in den Streugeometrien
- TO(LO) erlaubt (verboten) [Microfokus: $\varnothing \sim 1 \mu\text{m}$]
- LO(TO) erlaubt (verboten) [Macrofokus: $\varnothing \sim 2 \text{mm}$]



- InP-artige TO-Moden für $0 \leq x \leq 1$ (vertikale durchgezogene Linien)
- ab $x=0.48$: Intensität der AlP-artigen TO-Mode zu gering für Lorenzlinienfit
- gestrichelte vertikale Linie: TO-Mode der GaAs-Buffererschicht bzw. des GaAs-Substrates



- vertikale Linien: GaP-, InP- und AlP-artige LO-Moden
- Pfeile: AM Moden
- gepunktete Linien: verbotene InP-artige TO-Moden (Auswahlverbot!)

FIR-Dielektrische Funktion

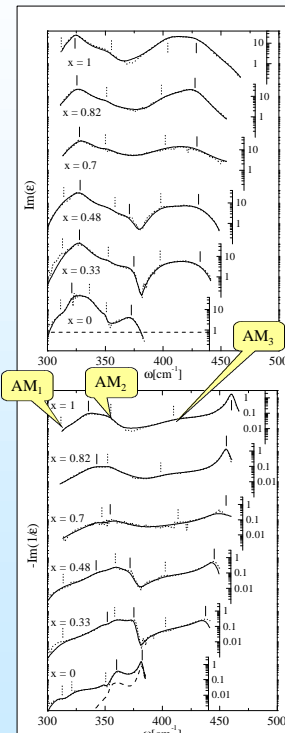
Modell-Dielektrische-Funktion:

- Infrarotaktive Gittermoden

$$\epsilon^{(0)} = \epsilon_\infty \prod_{j=1}^n \frac{\omega_j^2 + i\gamma_{LO,j}\omega - \omega_{LO,j}^2}{\omega_j^2 + i\gamma_{TO,j}\omega - \omega_{TO,j}^2}$$

- Lokale- und Gap-Moden (TO-LO \ll TO, LO)

$$\epsilon^{(L,AM)}(\omega) = \epsilon_\infty \prod_{j=1}^n \left(1 + \frac{i\gamma_{LO,j}\omega - \omega_{LO,j}^2}{\omega_j^2 + i\gamma_{TO,j}\omega - \omega_{TO,j}^2} \right)$$



- $\text{Im}(\epsilon)$ -Spektrale: MDF-Analyse (durchgez.), Point-by-Point-Fit (gepunktet)
- TO- und AM-Moden sind als lokale Maxima von $\text{Im}(\epsilon)$ zu erkennen (vertikale durchgez. bzw. gepunktete Linien)

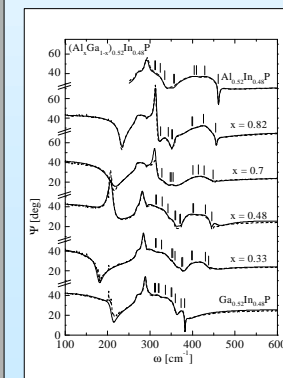
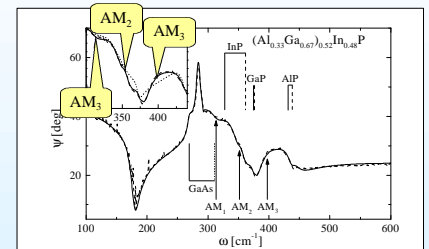
- $\text{Im}(1/\epsilon)$ -Spektrale: MDF-Analyse (durchgez.), Point-by-Point-Fit (gepunktet)
- LO- und AM-Moden sind als lokale Maxima von $\text{Im}(1/\epsilon)$ zu erkennen (vertikale durchgez. bzw. gepunktete Linien)

FIR-SE Analyse

- Analyse der dielektrischen Funktion ϵ von $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ anhand der FIR-SE Daten im Spektralbereich $100 \text{ cm}^{-1} < \omega < 600 \text{ cm}^{-1}$ mit Hilfe zweier Verfahren:

- Berechnung von ϵ mittels Modell-Dielektrischer-Funktion (MDF) durch Anpassung von Modellparametern
- Point-by-Point-Fit (punktweise Anpassung der FIR-SE Daten unter Variation von ϵ)

- drei Phononenbänder (InP-, GaP-, AlP-artig) sind zur Beschreibung der DF ϵ von $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ nicht ausreichend
- drei zusätzliche infrarotaktive Moden mit geringer LO-TO-Aufspaltung werden zur Modellierung von ϵ verwendet ($\text{AM}_1 - \text{AM}_3$)



- Psi-Spektren aller Proben:
- vertikale Linien bezeichnen die Parameter der LO-, TO- und lokalen Moden (AM) der best-Fit MDF ϵ