

# F-Praktikumsversuch: Kristallschwingungen und Raman - Spektroskopie



Abteilung Physik der Mikro- und Nanostrukturen  
(Prof. Dr. P.J. Klar)  
I. Physikalisches Institut,  
Justus-Liebig-Universität



## Was ist Raman-Spektroskopie?

Der Effekt wurde von Chandrasekhara Venkata Raman (1888-1970) im Jahre 1928 entdeckt. Es ist die unelastische Streuung von sichtbarem Licht (Lichtquant = Photon) an Kristall- oder Molekülschwingungen (Schwingsquant = Phonon). Ein Photon trifft auf einen Kristall und erzeugt oder vernichtet ein Phonon. Dies ändert die Energie (und Wellenlänge) des Photons. Der Prozess ist sehr selten, in der Regel durchläuft nur ein Photon in einer Million, die auf den Kristall treffen, den Raman-Prozess!

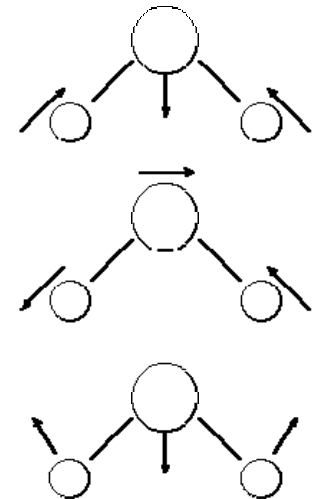


- Informieren Sie sich über die klassische Theorie zum Raman-Effekt, insbesondere beschäftigen Sie sich mit Energie und Impulserhaltung bei Ramanstreuung an Phononen.
- Was passiert beim Ein-Phonon und Zwei-Phononen Raman-Prozess?

## Molekül- und Gitterschwingungen

Jedes Molekül und jeder Kristall weist charakteristische Schwingungen der Atome auf. Beispielsweise Wasser  $H_2O$  zeigt drei unterschiedliche Schwingungsmoden. Signale vieler solcher Schwingungen kann man mit Ramanspektroskopie detektieren. Das Raman-Spektrum einer Substanz ist wie ein Fingerabdruck.

- Informieren Sie sich über die Beschreibung von Gitterschwingungen im Kristall, insbesondere beschäftigen Sie sich mit der linearen einatomigen und zweiatomigen linearen Kette.
- Was sieht die Dispersion  $\omega(k)$  aus? Was hat dies mit den Phononen-Dispersionen von III-V und Gruppe IV Halbleitern zu tun?

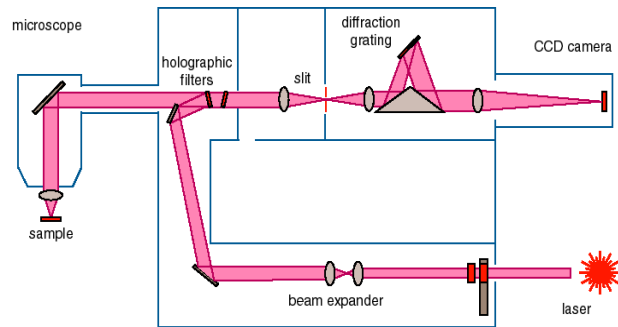


## Literatur:

- [1] H. Ibach & H. Lüth: Festkörperphysik - Einführung in die Grundlagen, (Springer Verlag, 7. Auflage, 2008)
- [2] C. Kittel, Einführung in die Festkörperphysik (Oldenbourg, 14. Auflage, 2005)
- [3] H. Hänsel, W. Neumann, Physik - Moleküle und Festkörper (Spektrum Akad. Verlag, 1996)

## Wie misst man ein Raman-Spektrum?

Man benötigt Licht definierter Wellenlänge (i. a. Laserlicht), das vom Kristall gestreut wird und dann mittels Mikroskop-Optiken gesammelt wird. Vor der Analyse des Lichts trennt man das Raman-gestreute Licht vom elastisch gestreuten Licht mit Hilfe eines schmalbandigen Spiegels (Notch-Filter) oder alternativ einem Kantenfilter. Dann wird das Licht im Gitterspektrometer spektral zerlegt und das Spektrum mit einer CCD Kamera (wie in der Digitalkamera) aufgenommen.



- Wie funktioniert der HeNe Laser?
- Wie funktioniert ein Gitterspektrometer?
- Wie funktioniert eine CCD Kamera?

## Anwendungen der Raman-Spektroskopie

Die Einsatzmöglichkeiten der Raman-Spektroskopie sind sehr vielseitig. Sie umfassen fundamentale Studien, Materialcharakterisierung, Qualitätskontrolle in der Halbleiterindustrie, Analytik, Drogenfahndung etc.

### Versuchsdurchführung:

#### Teil A: Pendelkette

Die Pendelkette besteht aus gekoppelten Torsionsschwingern.

Messen Sie die Eigenmoden (stehende Wellen) als Funktion der Erregerfrequenz aus. Bestimmen Sie die zugehörige Dispersion  $\omega(k)$ , wobei  $k$  die Wellenzahl ist, für:

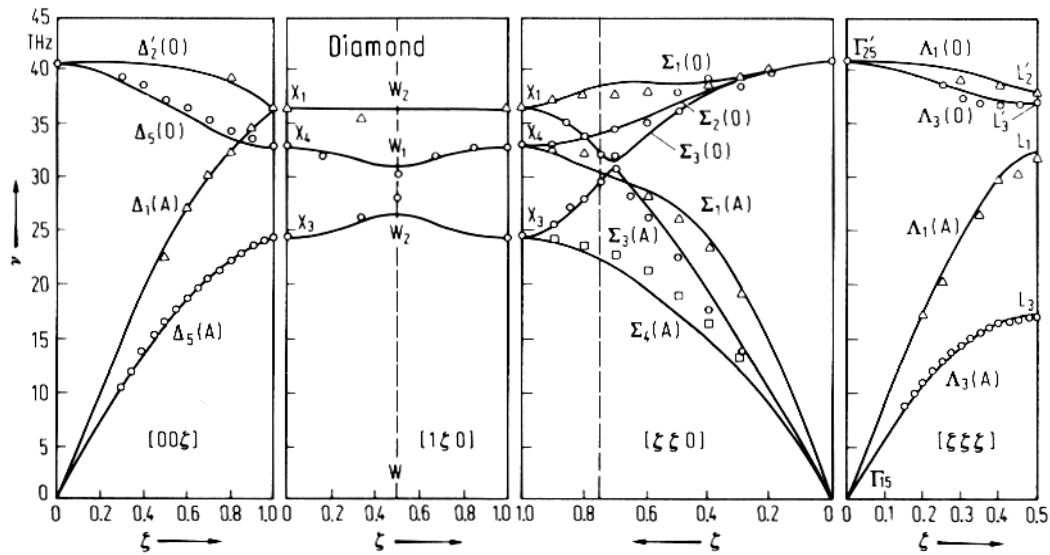
- die einatomige Kette ohne Zusatzmassen
- eine einatomige Kette mit Zusatzmassen aus Cu
- eine zweiatomige Kette (ohne Zusatzmasse/Cu)
- eine zweiatomige Kette (Cu/Al)

Werten Sie die Ergebnisse grafisch aus und diskutieren Sie diese.

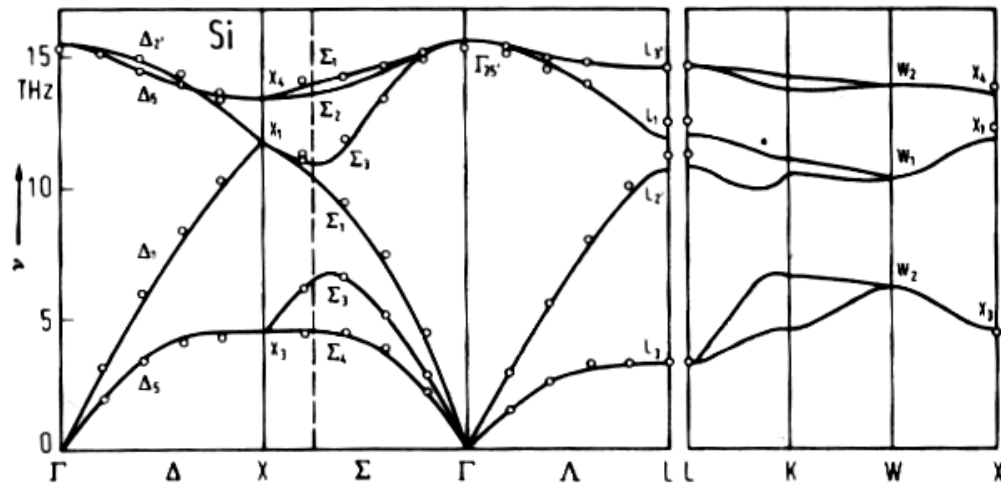
## **Teil B: Ramanspektren an III-V (GaP, GaAs, GaSb) und Gruppe IV (C, Si, Ge)**

- Machen Sie sich zusammen mit dem Betreuer mit der Messapparatur vertraut.
- Bestimmen Sie das Auflösungsvermögen des Spektrometers als Funktion der Breite des Eintrittsspalts.
- Nehmen Sie für eine erste Übersicht die Ramanspektren der sechs Halbleiter im Wellenzahlbereich bis 150 bis 3000  $\text{cm}^{-1}$  auf.
- Was sehen Sie? Ordnen Sie die Ramansignale mit Hilfe der Phononendispersionen zu.
- Messen Sie noch einmal genauer im Bereich der LO/TO Moden und im Bereich der 2-Phononensignale.
- Vergleichen Sie die beobachteten Trends für die Phononen mit den Erwartungen aus Betrachtungen der Phononendispersion der zugehörigen linearen Kette.
- Bestimmen Sie die Federkonstanten zwischen den Atomen.

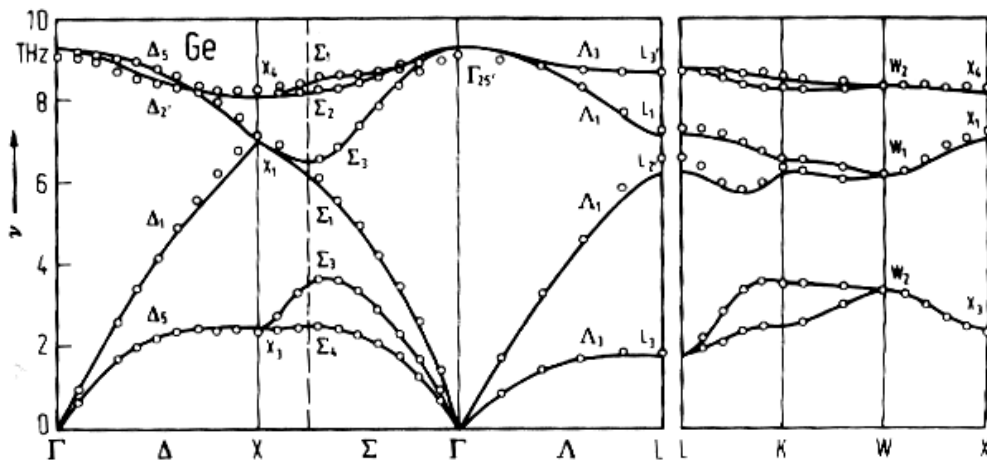
## Phonondispersionen der Gruppe IV Elementhalbleiter



Diamond. Phonon dispersion relations. Experimental data from neutron scattering, full curves: shell model calculation [67W].

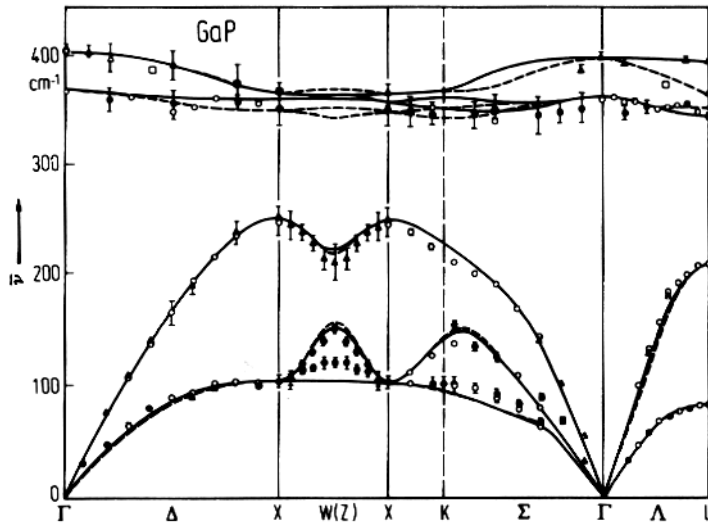


Si. Phonon dispersion relation. Solid lines: theoretical [77W1], data points from [63D] and [72N].

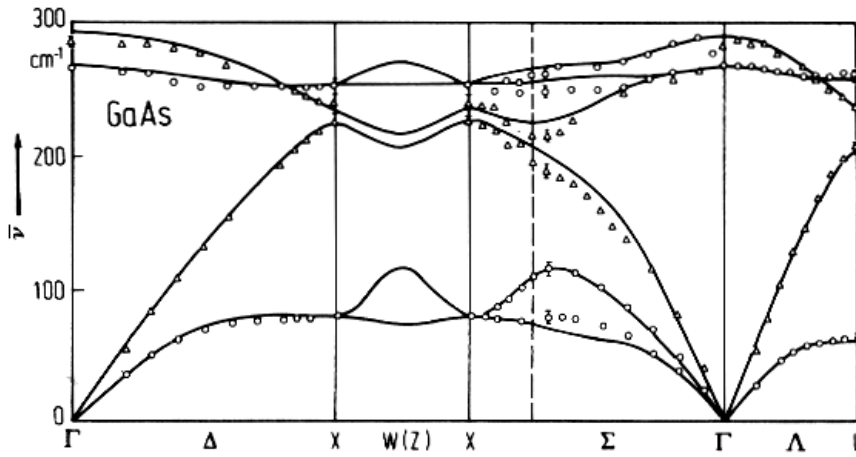


Ge. Phonon dispersion relations. Experimental points from [71N, 72N1], solid lines: theory [77W].

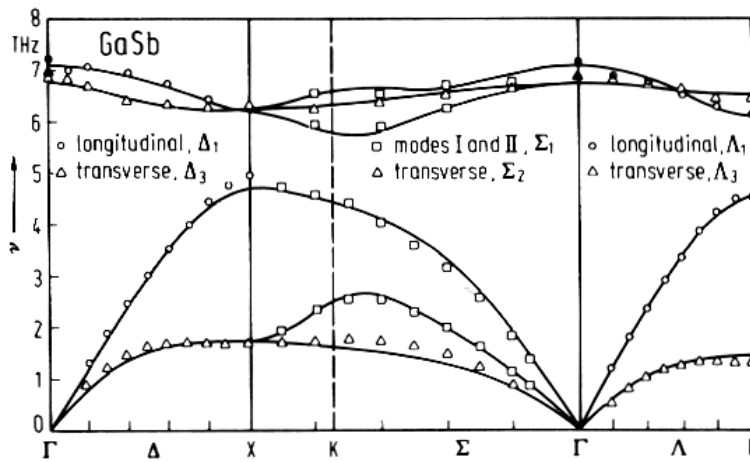
## Phononendispersionen von III-V Verbindungshalbleitern



GaP. Phonon dispersion relations calculated with an eleven parameter rigid ion model. Solid lines calculated to fit neutron diffraction data from [79B] (full symbols), dashed lines calculated to fit data from [68Y] (open symbols) [82P].



GaAs. Phonon dispersion relations calculated with an eleven-parameter rigid-ion model. Experimental points from neutron diffraction [84P2].



GaSb. Phonon dispersion relations. Symbols: experimental results from inelastic neutron scattering; full lines: 14 parameter shell model calculation [75F].