



Title	n-GaAsにおける結合した縦光学フォノン-プラズモンモードによるラマン散乱の理論
Author(s)	片山, 信一
Citation	大阪大学, 1975, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/31399">https://hdl.handle.net/11094/31399</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名・(本籍)	かた 片	やま 山	しん 信	いち 一
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	第	3451	号	
学位授与の日付	昭和50年9月11日			
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当			
学位論文題目	<b><i>n</i>-GaAsにおける結合した縦光学フォノン —プラズモンモードによるラマン散乱の理論</b>			
論文審査委員	(主査)	教授 金森順次郎		
	(副査)	教授 川村 肇	教授 西山 敏之	助教授 鈴木 勝久
	教授			
	講師	邑瀬 和生		

### 論 文 内 容 の 要 旨

安定な高出力気体レーザーや、波長可変の色素レーザーの開発は、金属や半導体において、新しい実験を可能にした。邑瀬等は、Ar イオンレーザー線 (5145Å, 4880Åそして4765Å) を使って、キャリア濃度  $8.4 \times 10^{17} \text{cm}^{-3} \sim 4.5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  の *n*-GaAs 結晶からのラマン散乱を測定し、約  $10^6 \text{cm}^{-1}$  の波数をもつ結合した縦光学フォノン—プラズモン (LO-PL) モードによる散乱スペクトルをみいだした。

本論文では、そのラマン散乱スペクトル、及び結合モード自身の性質が、微視的、理論的立場から詳しく調べられている。

極性半導体中の縦光学フォノンとキャリアーは互いに分極場をつうじて強く相互作用している。我々はキャリアー系を有効質量近似のできる電子気体であると仮定し、キャリアー間のクーロン相互作用、フォノンの非調和項をも考慮する。この電子—フォノン結合系の励起スペクトルは、フォノン応答や、誘電応答の理論にもとづいて、二時間グリーン関数の方法で計算された。この時、電子間クーロン相互作用については、Random Phase Approximation に対応する高次グリーン関数の切断がなされた。

GaAs 結晶では、Ar イオンレーザー光は、固有吸収端よりそのエネルギーが高く、結晶表面近くで強く減衰する。この効果を考慮するため金属中のフォノン、マグノンによるラマン散乱理論が我々の問題へ拡張された。

得られた結果は、次の4点に要約される。

- (1) LO-PL モードの低振動数分枝は、ランダウ減衰領域でさえ、よい素励起としてふるまう。その理由は、キャリアーのしゃへい効果が、共鳴的電子—フォノン結合を弱めるよう働くからである。
- (2) 測定された散乱スペクトルは、我々の計算により、かなりよく再現できる。スペクトル形状の

検討から、広い線巾は、電子—フォノン結合をつうじて、結合モードが一粒子励起へ崩壊することを反映している。スペクトルの非対称性は、2つの光散乱機構（原子変位と電気—光効果）の干渉効果に起因する。

(3) 積分散乱効率、約 $10^{-12}$ であり、その入射光の波長や、キャリアー濃度への依存性は、実験と定性的に一致する。特に濃度 $5.5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ の試料から、LO-PLモードによる光散乱スペクトルをみいだせなかった理由は、強い散乱機構の干渉効果による。

(4) ラマン散乱スペクトルの温度依存性はキャリアー系の熱分布を直接反映する。

最後に、電子密度ゆらぎによるラマン散乱が検討され、フォノンの光散乱が禁止されている散乱配置で、このゆらぎによる光散乱が重要となり、特にキャリアー濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下の時、この電子密度ゆらぎによる散乱が観測可能であることが指摘されている。

### 論文の審査結果の要旨

本論文は、邑瀬、川村等によってなされた *n*-GaAs での縦光学フォノンとプラズモンの結合したモードによるラマン散乱の実験について、実験条件に適合した条件下でのラマン散乱の理論を建設し、詳細な解析を行って実験事実とよく一致する結果を得て、実験的に見出された諸様相の理論的解釈を作り上げた理論的研究である。まず実験は、いわゆるランダウ減衰の波数領域ではじめて縦光学フォノンとプラズモンの結合モードを観測したもので、かなり広い巾をもつ非対称な形のスペクトルを与える。その積分散乱強度は、入射光の波長とキャリアーの濃度に依存し、とくに後者のキャリアー濃度が $5.5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下では上記結合モードによる散乱は、実験的には見出されなかった。本論文は極性半導体での縦光学フォノンおよびその非調和振動項を含むエネルギー、キャリアー系を表現する電子ガス系のエネルギーと電子—格子振動の相互作用を与えるエネルギーからなるハミルトンアンから出発し、2時間グリーン関数の方法によって、電子—フォノン結合系の励起スペクトルを計算する。さらに、入射レーザー光が結晶表面の近くで強く減衰することも考慮に入れて、ラマン散乱のスペクトルが計算された。結果は、ランダウ減衰領域でも上記結合モードが素励起として観測されることを示し、計算されたスペクトルの形は実験とよく一致している。また積分散乱効率のキャリアー濃度依存性および入射光の波長に対する依存性も実験結果をよく説明する。さらに温度効果やキャリアーの密度のゆらぎによる散乱機構も検討し、今後の実験に対して示唆を与えている。

本研究に用いられた理論的手法は、それぞれのステップに於ては既に知られているものであるが、本論文は *n*-GaAs のような極性半導体の理論的取扱いとして、実験条件を考慮に入れて実験事実と比較し得る一貫した理論を作り上げたものとしては最初のものであり、実験事実の解釈を確立したものとして高く評価することができる。今後の研究に資するところも大であるので、理学博士の学位論文として十分価値あるものと認める。