

Title	半導体ヘテロ構造における磁気フォノン共鳴と電子-フォノン相互作用に関する研究
Author(s)	森, 伸也
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3054368">https://doi.org/10.11501/3054368</a>
DOI	10.11501/3054368
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

氏名・(本籍)	森	伸	也
学位の種類	工	学	博 士
学位記番号	第	9752	号
学位授与の日付	平成3年3月26日		
学位授与の要件	工学研究科 電子工学専攻 学位規則第5条第1項該当		
学位論文題目	半導体ヘテロ構造における磁気フォノン共鳴と電子-フォノン相互作用に関する研究		
論文審査委員	(主査)		
	教授 浜口 智尋	教授 吉野 勝美	教授 裏 克巳
	教授 西原 浩	教授 寺田 浩詔	教授 児玉 慎三
	教授 白川 功	教授 興地 斐男	

### 論文内容の要旨

本論文は、半導体ヘテロ構造の電子移動度に重要な影響をもつ、電子-光学フォノン相互作用の影響を明らかにしようと試みたものである。論文は次の6章から成っている。

第1章では、半導体ヘテロ構造における磁気フォノン共鳴と電子-フォノン相互作用に関する研究の沿革と現状について示し、未解決の問題を挙げている。

第2章では、はじめに、半導体ヘテロ構造中の2次元電子ガスの磁気フォノン共鳴による磁気抵抗の理論式を示し、解析的な磁気抵抗の式の導出を行っている。次に、GaAs/AlGaAs単一ヘテロ構造における磁気フォノン共鳴の解析を試みている。障壁層に選択ドーピングされた不純物、チャンネル層の不純物、界面凹凸、光学フォノン、音響フォノン散乱によるランダウ準位の幅を求め、磁気抵抗の振幅を求め、Brummellらによる測定結果と比較し、ランダウ準位の幅は障壁層に選択ドーピングされた不純物散乱に支配されていることを明らかにしている。最後に、電子間の相互作用が磁気抵抗に及ぼす影響について考察している。

第3章では、はじめに、誘電性連続体モデルと通常の量子力学的方法とを用いて2元の化合物半導体で作られた単一ヘテロ構造と量子井戸構造とにおける電子-光学フォノン相互作用のハミルトニアンを求め、そのハミルトニアンを光学フォノンを経た電子間の2次元の相互作用というかたちに書き換えている。光学フォノンを経た電子間の2次元の相互作用は、電子の波動関数によらない結合定数と物質定数によらない形状因子との積として表せ、各フォノンモードの形状因子の和は常にバルクフォノンの形状因子に等しくなることを明らかにしている。その後、鏡像電荷を考慮にいたしたエネルギー損失の方法を用いて、以上の理論を、混晶半導体で作られたヘテロ構造における電子-フォノン相互作用へと

拡張としている。以上の結果を用いて、低電界における2次元電子ガスの移動度の解析を行っている。その結果、井戸幅の薄い量子井戸構造中の電子はおもに障壁層のフォノンと相互作用することを見出ししている。この結果より、電子の性質とフォノンの性質とを独立に選んだ素子を設計できる可能性を示している。最後に、電子と界面フォノンとの相互作用による磁気フォノン共鳴について考察している。その結果、通常の電子密度のGaAs/AlGaAs単一ヘテロ構造では、電子の存在する位置が界面から遠すぎるため、電子と界面フォノンとの相互作用は無視できることを指摘している。

第4章では、前章の結果を用いてGaAs/AlGaAs/GaAsトンネルダイオードの電流-電圧特性の解析を行っている。電極における電子と光学フォノンとの相互作用を考慮にいれてトンネル電流を求め、印加電圧がGaAsとAlAsの光学フォノンのエネルギーをこえた領域でのコンダクタンスの減少を確認している。コンダクタンスの減少はおもに界面フォノンによっていること、ならびに、GaAsに起因したモードは対称な界面フォノンの寄与が大きく、AlAsに起因したモードは対称な界面モードと反対称な界面モードとが同程度の寄与を示すことを明らかにしている。計算によって得られた電流の2階微分信号はHirakawaの実験結果とよい一致をみている。

第5章では、井戸層における電子と光学フォノンとの相互作用の影響が共鳴トンネル電流におよぼす影響について解析している。はじめに、トランスファ・ハミルトニアンの方法を用いた共鳴トンネル電流の計算方法について述べたのち、共鳴トンネル構造におけるフォノンモードを求めている。そして、GaAsとAlAsとでつくられた共鳴トンネル構造における共鳴トンネル電流を求めている。その結果、電極におけるフェルミエネルギーが小さく、障壁層の幅が井戸層の幅より厚い場合には、トンネル電流のバレイ部分にGaAsとAlAsの2種類のフォノンモードに起因する2つのサイドバンドが現れる、という結果を得ている。得られた結果はEavesらの測定結果と定性的に一致している。

第6章は結論で、上記各章で得られた結果をまとめ、総括を行っている。

## 論文審査の結果の要旨

半導体ヘテロ構造における電子-フォノン相互作用の問題は、極めて重要であるにもかかわらずまだ十分な解明がなされていないものの一つである。物質定数が異なる物質を用いてヘテロ構造を構成することにより電子-フォノン相互作用が変化する効果と、ヘテロ構造中では、フォノンが各層に閉じ込められたり、界面付近に局在することにより電子-フォノン相互作用が変化する効果とが重なって現れてくることが問題の解決を困難にしている。

本論文は、このような背景のもとに、半導体ヘテロ構造における磁気フォノン共鳴と電子-フォノン相互作用について理論的に検討し、半導体ヘテロ構造における電子-フォノン相互作用の影響を明らかにすることを試みたもので、その内容は独創性と、新しい知見を含んでいる。その主要な点は次の通りである。

1. 半導体ヘテロ構造における磁気フォノン共鳴による磁気抵抗の解析式を導出し、実験結果の解析を

可能にしている。これを用いて、磁気抵抗の振幅の電子密度依存性に関する実験結果の説明に成功している。

2. 電子-フォノン相互作用に対する、物質定数の効果と形状の効果とを分離することに成功し、形状因子の総和則を見い出している。

3. 半導体ヘテロ構造における電子-フォノン相互作用の関与する現象についていくつかの新しい知見を得ている。特に、トンネル現象に対する電子-フォノン相互作用の影響について詳しく解析を行い、これまでに報告されている実験結果の説明に成功している。

以上のように、本論文は、半導体ヘテロ構造における磁気フォノン共鳴と電子-フォノン相互作用について多くの新しい知見をもたらすとともに、半導体ヘテロ構造を新しい半導体素子として用いる場合に重要な基礎的な情報を提供するもので、電子工学ならびに半導体物性工学に貢献するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。