

Title	GaAs-AlGaAs ヘテロ接合界面内の低次元電子系に於ける素励起に関する理論的研究
Author(s)	熊田, 聖也
Citation	大阪大学, 1996, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/39747
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"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	くま だ せい や 熊 田 聖 也
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 2 4 7 9 号
学位授与年月日	平成 8 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	GaAs-AlGaAs ヘテロ接合界面内の低次元電子系に於ける素励起に関する理論的研究
論文審査委員	(主査) 教授 興地 斐男 教授 増原 宏 教授 中島 信一 教授 八木 厚志 教授 岩崎 裕 教授 川上 則雄 教授 志水 隆一 教授 樹下 行三 教授 石井 博昭 教授 豊田 順一 教授 河田 聡 教授 伊東 一良 教授 後藤 誠一 教授 一岡 芳樹

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、半導体低次元電子系の素励起の振る舞いに関する理論的研究をまとめたものであり、以下の 5 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的、及び本論文の構成について述べている。

第 2 章では、量子井戸内電子系に対して行われた光散乱の実験に対する理論的解析を行っている。これまでは実験的にも理論的にも、スピン反転を伴うサブバンド間励起に寄与する相互作用は小さく、準粒子励起に対する補正程度であるとされていた。しかし、最近得られた実験結果は、通常集団励起（スピン反転しない励起）に働くものと同程度の大きさの相互作用がスピン反転する素励起に寄与することを示唆している。本章ではこの実験結果を理論的に解析する事により、素励起スペクトルの低エネルギー側に見い出された鋭いピーク構造はサブバンド間の電子と正孔に働く引力的相互作用により形成される束縛準位に起因する事、および、その引力が強いためスペクトル上で準粒子励起領域から大きく離れたエネルギー位置にピークが現われる事を明かにしている。さらに、計算により得られた鋭いピーク構造のエネルギー位置、および、ピーク強度の散乱波数依存性は実験結果を定性的に再現している。

第 3 章では、磁場中に於ける量子細線内電子系の光散乱の実験に於て観測されると考えられるサブバンド間の素励起スペクトルを理論的に考察している。そして、集団励起に起因したピーク以外の鋭いピーク構造を見い出している。零磁場中では集団励起を起こす相互作用の長距離成分は異なる波数を持つ 2 電子間の相関を与えない。しかし、有限磁場中ではこの相互作用により上述の相関が現われ、これにより付加的なピーク構造が得られる事を明かにしている。この相関は電子間の有効な引力的相互作用により生じるので、新しく見い出されたピーク構造は 2 電子の束縛準位によるものである事が明かにされている。

第 4 章では、分数量子ホール効果の解析に用いられた複合フェルミオン描像を量子細線内の電子系に適用し、そのサブバンド内の素励起スペクトルを Chern-Simons ゲージ場の理論を用いて求めている。その結果、準粒子励起は長波長において強く抑制される事、および、集団励起の分散には散乱波数が零近傍でギャップが存在し、磁気ロトン構造が現われる事を示している。このことから閉じ込めポテンシャル中であっても電子系が非圧縮性液体に近い振る舞いをする事を明かにしている。また、有限の散乱波数では準粒子の寄与を無視できないため、磁気ロトンの極小構造が変調を受ける事を示している。

第 5 章では、以上で得られた知見を総括している。

論文審査の結果の要旨

本論文は半導体低次元電子系の素励起の振る舞いを理論的に調べたもので、その主な成果を要約すると次の通りである。

(1)量子井戸内の電子系に対する光散乱の実験によって明かにされた新たな事実に対して理論的考察を行なっている。従来は実験的にも理論的にも、スピン反転を伴うサブバンド間の素励起に寄与する相互作用は小さいとされていた。しかし、最近の実験結果から、集団励起（スピン反転しない素励起）に働くのと同程度の大きさの相互作用が、スピン反転する素励起に寄与していることが示された。本論文は摂動展開により密度相関関数を系統的に評価することで、素励起スペクトルの低エネルギー側に見い出された鋭いピーク構造はサブバンド間の電子と正孔との間に働く引力的相互作用により形成される束縛準位に起因する事、その引力が強いためスペクトル上で準粒子励起領域から大きく離れた位置にピークが現れる事を明かにしている。

(2)磁場中での量子細線内電子系の光散乱によるサブバンド間素励起を理論的に考察し、この系の素励起スペクトルには、集団励起に起因したピーク以外に鋭いピーク構造が現れる事を明らかにしている。さらに、この付加的ピーク構造は、磁場中でのみ存在する2電子間の有効な引力的相互作用に起因する束縛準位によるものである事を明かにしている。

(3)複合フェルミオン描像を量子細線内の電子系に適用し、そのサブバンド内の素励起の振る舞いを考察し、準粒子励起は長波長において強く抑制される事、および、集団励起の分散には散乱波数が零近傍でギャップが存在し、磁気ロトン構造が現れる事を明かにしている。これらの結果より、パラボリックな閉じ込めポテンシャル中であっても強磁場中の電子系は特定の占有率に於て非圧縮性液体に近い振る舞いをする事を予言している。

以上のように、本論文は量子井戸内電子系、磁場中量子細線内電子系、さらに強磁場下で特定のランダウ準位占有率を有する量子細線内電子系などの素励起の振る舞いを理論的に調べ、これまで理解されていなかった実験結果を説明し、さらに低次元電子系の新たな振る舞いを指摘したものであり、応用物理学、特に半導体工学に寄与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。