

Title	Terahertz photoconductive study of 2D and 3D electron systems in semiconductors
Author(s)	菅原, 彩子
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48781">https://hdl.handle.net/11094/48781</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。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

氏 名	菅 原 彩 子
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 2 1 4 9 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年 6 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学 位 論 文 名	Terahertz photoconductive study of 2D and 3D electron systems in semiconductors (半導体の二次元電子系と三次元電子系におけるテラヘルツ光伝導の研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 田 島 節 子  (副査) 教 授 野 末 泰 夫 准教授 宮 坂 茂 樹 准教授 鷹 岡 貞 夫 大工大教授 藤 井 研 一

### 論 文 内 容 の 要 旨

磁気光伝導測定は、古くから半導体研究の測定手段として用いられてきた。今までは、共鳴磁場位置から不純物準位を同定したり、有効質量を決定したりと、磁場位置のみが議論されてきた。本研究では、信号強度まで含めて、より多くの物理的情報を得ることが出来た。測定の試料として、補償された半導体中の 3D 電子系と、ヘテロ接合中の 2D 電子系とを用い、議論しようとした。

補償された数種類のバルク半導体 (CdTe、Ge、InP、GaAs) を用いて、テラヘルツ光による磁気光伝導を測定し、3D 電子系のサイクロトロン共鳴信号を得た。その電子サイクロトロン共鳴信号の、バンドギャップ光照射に対する効果を調べると、信号強度の著しい変化が観測された。電子サイクロトロン共鳴信号は、バンドギャップ光の照射強度に応じて、正負の反転を起こした。その反転の方向は半導体によって異なり、CdTe では、バンドギャップ光の照射強度の増加に伴って、共鳴信号が正 (ピーク) から負 (ディップ) へ、Ge では逆に負から正へ反転変化するのが観測された。InP と GaAs では、光照射に対して大きくなる正のピークが得られた。本研究では、この反転変化は光照射による不純物の中性化と、イオン化エネルギーの大きさとで統一的に解釈できると結論付けた。

また、近年、高移動度の GaAs/AlGaAs 二次元電子系における磁気抵抗測定で、マイクロ波誘起の磁気振動が観測され、その振動の最小点で、ゼロ抵抗状態が実現することが測定されている。この現象の起源はまだ不明だが、散乱現象との関わりが示唆されている。これを詳しく調べる為、遠赤外光による磁気抵抗測定を、GaAs/AlGaAs ヘテロ接合中の 2D 電子系を用いて行った。その際、照射した遠赤外光の周波数に対応するような、アンテナ構造を、試料表面に載せた。測定の結果、シュブニコフ・ド・ハース振動が得られたが、特に、サイクロトロン共鳴直下の磁場位置で、ディップ (抵抗の減少) を観測した。このディップ強度の、ゲート電圧に対する依存性から、得られた測定結果は、ゼロ抵抗状態を説明する Durst のモデルで解釈できると結論付けられた。

## 論文審査の結果の要旨

テラヘルツ光を用いた磁場中での光伝導測定は電荷担体の有効質量決定や不純物の束縛エネルギー同定を高感度かつ精密に行えるため、半導体物性研究において幅広く利用されてきた。これらの決定のために、対象としている電荷担体（主として電子）の準位間のエネルギー差を磁場で変化させ、印加した光のフォトンエネルギーに一致したときの共鳴的な伝導変化の測定を行う。この共鳴磁場位置から上記の基礎物性値の決定が行われてきた。しかし、伝導度の共鳴磁場位置以外の情報はほとんど顧みられることが無かった。これは光照射により電荷担体濃度と易動度の双方が変化するため、信号強度変化等を定量的に議論することが困難と思われていたことも一因にある。

菅原彩子氏は本研究で、従来からの光伝導測定に以下で述べる2つの技術を導入して新しい観点から測定に取り組むことで、より多くの半導体物性の情報を得ることを試みた。この試みにより、光伝導度信号における共鳴磁場位置の情報のみならず、共鳴信号の強度変化から物理的に有益な情報を抽出することを可能とした。

この2つの技術導入とそれにより明らかにされたことをまとめると次のようになる：

1) 光伝導の探針としてのテラヘルツ光に加え、半導体のバンドギャップに相当するエネルギーを持つ光照射を導入し光伝導度測定を行った。バンドギャップ光照射により生成された伝導電子によりイオン化されていた不純物を中性化することが可能となり、補償された半導体中のイオン化不純物ならびに中性不純物濃度の精密な制御を行うことが可能となった。散乱体である不純物の電荷状態の変化により、CdTe 半導体の電子サイクロトロン共鳴位置での光伝導度測定では、バンドギャップ光の照射強度とともにディップ（伝導度減少）からピーク（伝導度増大）への強度変化反転が生じることを明らかにした。これは中性不純物およびイオン化不純物による散乱確率の違いを反映しており、光伝導度信号の定量的な基礎付けることができた。さらに光伝導度の信号強度を決定している要素として、易動度（散乱機構）に加え衝突電離過程も重要であることを突き止めた。このような光伝導度を支配する散乱機構と衝突電離過程の発現は不純物の束縛エネルギー（すなわち有効質量）により支配されていることを、様々な半導体の光伝導度測定より明らかにし、光伝導度信号強度変化を半導体一般の性質として統一的に議論することを可能とした。

2) 2次元電子系を有するヘテロ構造試料に対しアンテナ構造を導入した。これにより近年マイクロ波印加時に誘起される磁気振動間に現れる抵抗ゼロ状態と同一の起源を有する抵抗減少効果をテラヘルツ光を用いて初めて観測することが出来た。

いずれも本研究により初めて明らかにされたものであり、半導体物性研究のための光伝導測定の定量的な議論の重要な基礎を与えたものと考えられる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。