



Title	Magneto-optical Effects of Semiconductors in the Terahertz Region
Author(s)	Quema, Alex Villareal
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/44325">https://hdl.handle.net/11094/44325</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">大阪大学の博士論文について</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	ケマ、アレックス ヴィラリアル Quema, Alex Villareal
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 7 2 9 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 14 年 9 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	Magneto-optical Effects of Semiconductors in the Terahertz Region (テラヘルツ領域における半導体の磁気光学効果に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 萩 行 正 憲  (副査) 教 授 後 藤 誠 一    教 授 笠 井 秀 明    助 教 授 菅 誠 一 郎 助 教 授 森 田 浩

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、テラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) を用いて、半導体の磁気光学効果に関する研究を行っている。本論文は以下の 6 章から構成された。

1 章は本論文の導入部として、本研究の目的と意義および、本論文の構成を説明した。

2 章では、半導体の磁気光学効果の説明を行っている。この領域で行われた過去の研究に関する議論およびいくつかの理論的背景、特に自由電子 Faraday 効果、自由電子 Voigt 効果、および、自由電子磁気光学 Kerr 効果について説明した。

3 章では、超短光パルス励起による半導体表面、および、光伝導アンテナからのテラヘルツ電磁波放射に関して詳細な議論を行っている。また、一般的に使われている THz-TDS システムである透過型 THz-TDS および、反射型 THz-TDS についても述べた。

4 章では、弱磁場下における InAs 表面からの THz 電磁波の放射について述べている。テラヘルツ電磁波の電場振幅は、半導体表面に生じた光励起キャリアの時間変化に比例して放射されるが、外部磁場によって大きな影響を受ける。本章では、外部磁場下で放射される電磁波のスペクトルおよび偏光特性を明らかにしている。また 0.2 T の外部磁場をかけることで低周波数側の電磁波強度が増幅されることを利用し、THz-TDS システムの S/N が向上させることができることを実験的に示した。

5 章では、テラヘルツ領域におけるシリコンの磁気光学効果、つまり Faraday 効果と Voigt 効果に関する実験結果を示し、それらについて考察を行っている。はじめに、Faraday 効果や Voigt 効果を測定するために構築した、1.5 T の外部磁場をかけることができる特別な THz-TDS システムの説明している。このシステムを使えば、Faraday 効果や Voigt 効果を、試料透過後のテラヘルツ波の時間領域での偏光方向の変化として捕らえることができる。Faraday 効果の実験においては、時間領域の波形をフーリエ変換することにより、偏光の楕円率および楕円回転角スペクトルを得た。またそれらの結果をドルーデモデルを用いて計算した結果と比較し、両者が一致することを示した。Voigt 効果においても同様に、楕円率と楕円回転角に関して、実験と理論計算との比較を行い一致することを確かめた。またこれらの結果に基づき、非接触でかつ試料がないときの参照測定をする必要もなく、半導体のキャリア密度と移動

度を測定できる新しい方法を提案した。

6章では、本論文のまとめと、本研究の今後の展望を述べた。

## 論文審査の結果の要旨

テラヘルツ電磁波は従来は未開拓電磁波と呼ばれ、その研究は他の電磁波帯に比べて非常に遅れていた。しかし、近年、超短光パルスを用いて半導体光スイッチなどからテラヘルツ電磁波を放射する技術が開発され、世界的にテラヘルツ電磁波の研究が盛んになっている。本研究では、従来、マイクロ波や赤外領域で行われていた半導体の磁気光学効果の研究に、テラヘルツ電磁波を用いた新しい分光法であるテラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) を導入することを目的とし、磁場印加状態でテラヘルツ分光が行える装置を試作し、これをキャリアをドープしたシリコンのファラデー効果およびフォークト効果の測定に応用したもので、主な成果をまとめると以下のようになる。

(1) 半導体 InAs の磁場下での、超短パルスレーザー励起テラヘルツ波放射のスペクトルおよび偏光特性を詳細に測定し、0.2 テスラ程度の磁場印加により、低周波数のスペクトル強度が増大すること、また、偏光が磁場の方向に応じて大きく変化することを見出している。これらの結果を磁場下での光励起電子の古典的運動により説明している。さらに、この放射強度の増大を利用して、キャリアをドープしたシリコンを試料とし THz-TDS の SN 比の向上を実現している。

(2) THz-TDS 用に 1.5 テスラの磁場が印加できる磁場印加装置を設計・試作し、この装置を THz-TDS システムに組み込んで、キャリアをドープしたシリコンのファラデー効果を測定することを可能にしている。互いに垂直な偏光でテラヘルツ電磁波の電場を時間領域で検出し、それをベクトル的に表示することにより、偏光回転の様子を直感的に把握する方法を提案している。また、フーリエ変換を用いて各周波数における偏光の楕円率と楕円回転角を導出し、これを自由キャリアに対するドルーデモデルによる計算と比較し、両者が良く一致することを確認している。さらに、同様の測定をフォークト効果に対しても行い、実験と計算が良く一致することを示し、THz-TDS の有効性を検証している。

(3) 上記の楕円率と楕円回転角の周波数依存性が、ドープされたキャリアの濃度や移動度に強く依存することを計算で示し、このことからテラヘルツ域での実験結果からキャリア密度と移動度を決定する手法を提案している。これは、従来の手法と異なり試料なしの参照測定を必要とせず、透過テラヘルツ波の偏光を測定するだけでこれらの物理量を決定するものであり、効果的な手法であることを検証している。

以上のように、本論文はテラヘルツ時間領域分光法を半導体の磁気光学効果へ応用することを試みたものである。解析においては、時間領域分光法の特徴を最大限に利用しており、磁気光学効果への応用としてはこれまでで最も系統的な研究である。本論文における実験手法と解析手法は、今後の THz-TDS を用いた磁気光学効果の研究に新しい道を拓いたものであり、これらの成果は応用物理学、特に、分光学の物性評価への応用に寄与するところが多い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。