

Title	テラヘルツ領域における半導体キャリアの磁気光学応答
Author(s)	角倉, 久史
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48447">https://hdl.handle.net/11094/48447</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	角 倉 久 史
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 21157 号
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 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	テラヘルツ領域における半導体キャリアの磁気光学応答
論文審査委員	(主査) 教授 萩行 正憲  (副査) 教授 笠井 秀明 助教授 菅 誠一郎 京都大学大学院理学研究科教授 田中耕一郎

#### 論文内容の要旨

近年半導体デバイスの高速化に伴い、半導体キャリアの高周波輸送特性やダイナミクスに関する研究が益々重要となっている。特に磁場中におけるキャリアは量子ホール効果など特異な現象を示すため注目されている。そこで本研究ではキャリアが敏感に応答するテラヘルツ電磁波を用いて、磁場中における半導体キャリアの高周波輸送特性とダイナミクスを調べた。

第 1 章では、これまで報告されているテラヘルツ時間領域分光について紹介し、この分光法が半導体キャリアのダイナミクスを知る上で有用であることを述べた。更に最近いくつか報告されているテラヘルツ電磁波による半導体の磁気光学効果測定について紹介した。

第 2 章では、本研究で新たに開発したテラヘルツ時間領域磁気光学分光装置について述べた。この装置では、取り扱いが煩雑な液体ヘリウムの使用を避け、機械式冷凍機によって超伝導マグネットと試料を冷却した。冷凍機の振動によるノイズは独自開発の“サウンドトリガ”システムにより除去することに成功したため、最大 10 T、最低 5 K において試料のテラヘルツ時間領域分光を容易に行うことが可能となった。

第 3 章では、この装置を用いて  $n$  型 InAs のファラデー効果を室温で測定した。そして試料を透過したテラヘルツ波の楕円率と回転角スペクトルをボルツマン輸送方程式とドルーデモデルにより解析し、強磁場中の電子輸送特性を考察した。その結果、4~5 T の低磁場では半古典的なボルツマン輸送方程式により電子の高周波輸送特性を記述できたが、6 T 以上の強磁場では伝導電子のエネルギーが明瞭にランダウ量子化されるため、電子の有効質量や散乱時間に強い磁場依存性が現れることを明らかにした。

第 4 章では、近年量子ビットとして注目されている半導体中のドナーの電子状態の磁場効果を調べた。高濃度 Si ドープ GaAs のテラヘルツ磁気光学応答を測定し、自由電子とドナー電子との相互作用を調べた。その結果、50 K 以上の高温では自由電子による応答が観測されたが、5 K 近傍の低温では不純物バンド内のドナーに局在した電子による磁気ドナー吸収が観測された。この吸収の磁場および温度依存性から、自由電子によるドナーポテンシャルの遮蔽メカニズムを実験的に明らかにした。

第 5 章では、これまで未解明だった磁場中における光励起キャリアのダイナミクスとテラヘルツ波放射との関係を明らかにするため、強磁場中の III-V 族半導体にフェムト秒レーザーを照射したとき放射されるテラヘルツ波を時間

領域で測定した。その結果、*n* 型 InAs では光励起キャリアの拡散によって生じる過渡電場によって、バルク電子ガス中にコヒーレントな磁気プラズマ波が励起されることがわかった。更にこの磁気プラズマ波によって誘起される 2 種類の振動分極成分がテラヘルツ波放射に寄与し、磁場によってそれらの寄与の大きさが入れ替わることが本研究で初めて明らかになった。

第 6 章では、本研究を総括した。また今後期待されるテラヘルツ磁気光学分光によるキャリアダイナミクスの研究とフォトニック結晶などへの展開について述べた。

## 論文審査の結果の要旨

半導体デバイスの高速化に伴い半導体キャリアの高周波輸送特性やダイナミクスに関する研究が益々重要になっている。特に磁場中のキャリアは磁気プラズマ吸収やサイクロトロン共鳴などの多彩な現象を示すため注目されている。本論文では、キャリアが多彩な応答を示すテラヘルツ帯で、磁場中における半導体バルクキャリアの高周波輸送特性と光励起キャリアのダイナミクスを明らかにしている。主な成果を以下にまとめる。

(1) テラヘルツ領域の磁気光学効果を測定するため、新たにテラヘルツ時間領域磁気光学分光システムを開発し、その特性を評価している。この装置では、取り扱いが煩雑な液体ヘリウムの使用を避け、機械式冷凍機によって超伝導マグネットと試料を冷却している。冷凍機の振動によるノイズは独自開発の“サウンドトリガ”システムにより除去することに成功しており、最大 10 T、最低 5 K の強磁場低温環境において試料のテラヘルツ分光が可能となっている。

(2) III-V 族の半導体に注目し、強磁場・低温下のキャリア輸送特性をファラデー効果の測定により調べている。その結果から、伝導バンドにある自由電子の有効質量や散乱時間は電子エネルギーのランダウ量子化によって変化することを示している。また低温において、熱励起された自由電子によるドナーポテンシャルの遮蔽効果を実験的に明らかにしている。更に、テラヘルツ領域の光学伝導度を不純物バンド内に存在する局在電子の輸送特性により説明している。

(3) これまで未解明だった磁場中における光励起キャリアのダイナミクスとテラヘルツ波放射機構との関係を明らかにするため、強磁場中の III-V 族半導体にフェムト秒レーザーを照射したときに放射されるテラヘルツ波を時間領域で測定している。その結果、*n* 型 InAs では光励起キャリアの過渡的な拡散によって、バルク電子ガス中にコヒーレントな磁気プラズマ波が励起されることを明らかにしている。そして、この波の縦成分と横成分の電場による振動分極がテラヘルツ電磁波を発生させていることを本論文で初めて明らかにしている。

以上のように本論文は、テラヘルツ分光およびテラヘルツ放射特性から、磁場中の自由電子や局在電子の高周波輸送特性、並びに、光励起キャリアのコヒーレントダイナミクスを明らかにしている。その成果は応用物理学、特に半導体光物性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。