

Title	テラヘルツ時間領域分光法を応用した電子材料の非接触物性評価
Author(s)	松本, 直樹
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58384
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	まつもと なおき 松本直樹
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24553 号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科精密科学・応用物理学専攻
学位論文名	テラヘルツ時間領域分光法を応用した電子材料の非接触物性評価
論文審査委員	(主査) 教授 萩行 正憲 (副査) 教授 笠井 秀明 教授 高原 淳一 福井大学遠赤外領域開発研究センター教授 谷 正彦

論文内容の要旨

本研究では、テラヘルツ時間領域分光法(THz-TDS)を用いることで、誘電体及び半導体電子材料の誘電的または電気的特性の評価を非接触で実現することを目的とした。本研究の特色は、テラヘルツ波に対する各種材料の誘電応答の起源を理論モデルに基づいて検証し、そこから実用上有益となる情報を取り出すための解析方法を見出したという点と、従来は評価が難しかった薄膜試料に対しても高感度な測定ができる評価手法を構築したという点である。以下に本論文の要旨を述べる。

第1章では、電子材料の非接触評価に関するニーズと、本研究でTHz-TDS法を採用した理由について述べた。

第2章では、テラヘルツ時間領域分光システムを構成するための光学要素(THz放射/検出素子、偏光子など)の動作と機能について述べ、THz-TDS法における複素誘電率導出の原理を述べた。

第3章では、誘電体セラミックスとしてTiO₂を例にとり、テラヘルツ帯での誘電特性が、赤外活性フォノンの分散特性によって左右されていることを調和振動子モデルに基づいて明らかにした。

第4章では、テラヘルツ時間領域エリプソメトリ分光システム(THz-TDSE)の構成及び測定方法について示した。本研究では入射角可変の光学系を採用することによって、試料のプリユースター角付近に入射角を設定できるようにし、これにより薄膜試料に対する測定の高感度化を図ることに成功した。

第5章では、第4章で述べたTHz-TDSE法を用いて、量子常誘電体SrTiO₃薄膜の誘電特性を評価した結果について述べた。SrTiO₃の誘電特性は下地基板の種類によって大きく変化するため、本研究では実用性を意識し、Pt下部電極層の上に成膜されたSrTiO₃薄膜の評価を試みた。この結果、3THz付近にT01ソフトモードの共鳴応答を観測し、理論モデルと概ね一致する誘電関数が得られることを示した。そして、LSTの関係式に基づき、T01ソフトモードの共鳴振動数が静的誘電率の値を示す指標になり得ることを示した。

第6章では、窒化物半導体AlGaIn/GaNヘテロ構造における二次元電子ガス(2DEG)のキャリアパラメータを、透過型THz-TDSを用いて評価した結果について述べた。2DEGはヘテロ界面のごく薄い数ナノメートルオーダーの領域にしか形成されないものであるが、測定及び解析方法を工夫することによって2DEGの有意な応答を得ることに成功し、実験で得られた複素電気伝導度スペクトルがDrudeモデルとよく一致することを示した。

第7章では、本論文の内容を総括した。

論文審査の結果の要旨

近年のテラヘルツ波技術の進展に伴いその非接触性を生かした材料物性評価への応用が期待されている。特にテラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) は、広帯域において振幅並びに位相を測定できる分光法として、様々な材料の誘電率や電気伝導度の測定に利用されつつある。本論文では、電子材料である誘電体や半導体の誘電率や電気伝導度を評価する具体的解析手法を提案するとともに、薄膜測定に適した高精度のエリプソメトリ装置を考案・作製し、GaAs や SrTiO₃ 薄膜の評価に応用している。

第 1 章では、電子材料の非接触評価に関するニーズと、そのために THz-TDS 法を採用した理由について述べている。

第 2 章では、THz-TDS システムを構成するための光学要素 (THz 放射/検出素子、偏光子など) の動作と機能について述べ、THz-TDS 法における複素誘電率導出の原理を述べている。

第 3 章では、誘電体セラミックスとして TiO₂ を例にとり、テラヘルツ帯での誘電特性が、赤外活性フォノンの分散特性によって左右されていることを調和振動子モデルに基づいて明らかにしている。

第 4 章では、テラヘルツ時間領域エリプソメトリ分光システム (THz-TDSE) の構成及び測定方法について示している。精密に制御された入射角可変の光学系を採用することによって、試料のプリュースター角付近に入射角を設定できるようにし、これにより薄膜試料に対する測定の高感度化を図ることに成功している。

第 5 章では、THz-TDSE 法を用いて、量子常誘電体 SrTiO₃ 薄膜の誘電特性を評価している。SrTiO₃ の誘電特性は下地基板の種類によって大きく変化するが、実際のコンデンサ作製プロセスに適用することを考慮して、Pt 下部電極層の上に成膜された SrTiO₃ 薄膜の評価を試みている。その結果、3THz 付近に TO1 ソフトモードの共鳴応答を観測し、理論モデルと概ね一致する誘電関数が得られることを示している。そして、LST の関係式に基づき、TO1 ソフトモードの共鳴振動数が静的誘電率の値を示す指標になり得ることを示している。

第 6 章では、窒化物半導体 AlGaIn/GaN ヘテロ構造における二次元電子ガス (2DEG) のキャリアパラメータを、透過型 THz-TDS を用いて評価している。2DEG はヘテロ界面のごく薄い数ナノメートルオーダーの領域にしか形成されないものであるが、測定・解析方法を工夫することによって 2DEG の有意な応答を得ることに成功し、実験で得られた複素電気伝導度スペクトルが Drude モデルとよく一致することを示している。

第 7 章では、本論文の内容を総括している。

以上のように、本論文はテラヘルツ時間領域分光法、特にテラヘルツ時間領域エリプソメトリ分光法が、電子材料の非接触評価に非常に有効なことを示しており、応用物理学、特にテラヘルツ分光法の研究の発展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。