



Title	半導体及び超伝導体のフェムト秒電磁・光応答に関する研究
Author(s)	菜嶋, 茂喜
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/146">https://hdl.handle.net/11094/146</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名	な 菜 嶋 茂 喜
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 17004 号
学位授与年月日	平成 14 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	半導体及び超伝導体のフェムト秒電磁・光応答に関する研究
論文審査委員	(主査) 教 授 萩行 正憲
	(副査) 教 授 伊東 一良 教 授 高井 義造 教 授 八木 厚志 助教授 中村 収

### 論文内容の要旨

本論文では、フェムト秒レーザー励起により放射されたテラヘルツ波を光源とする時間領域分光システムを開発し、半導体や誘電体等の新しい物性評価法への応用を試みた。また、フェムト秒レーザーを用いて YBCO 系超伝導体からのテラヘルツ波放射や時間分解過渡的反射率変化を測定し、その超伝導電子物性を研究する一方で、これらの測定手法を処理プロセス中の YBCO 薄膜の特性評価に応用する事を試みた。以下に学位論文の要旨を述べる。

1 章では、これまでの電波領域から遠赤外領域に於ける分光技術について説明し、本研究の目的と位置付けを明らかにした。

2 章では、構築した透過型テラヘルツ時間領域分光システムについて紹介し、その構成要素である放射素子や検出素子の特性を調べた。そして、ファイバーレーザーを用いたコンパクト型分光システムの性能をドープされたシリコンの光学定数の測定により評価した。

3 章では、構築した分光システムを用いてシリコンのテラヘルツ領域の光学定数の温度依存性を調べた。その結果を Drude モデルで解析する事により、温度の低下によるキャリアの凍結と移動度の増加により説明した。また、低温下で Drude モデルとの不一致が増大し、低温での光学定数の解析にはキャリアの散乱のエネルギー依存性を考慮する必要がある事がわかった。

4 章では、構築した分光システムを用いて有機非線形光学結晶である DAST の光学定数を調べ、報告されている差周波混合によるテラヘルツ放射特性を定量的に評価した。その結果、DAST からのテラヘルツ波放射は、低周波領域から 1 THz 迄の放射効率が大きい事と波長  $1.1 \mu\text{m}$  の励起光が最適である事が確認された。

5 章では、反射型テラヘルツ時間領域分光システムを構築すると共に、従来問題となっていた位相補正に対して光学定数の既知な平行平板試料を張り合わせる方法を提案し、1 THz で  $10^2 \text{ rad}$  以下の精度で位相差を補正する事に成功した。

6 章では、YBCO の Y を一部 Pr で置換した試料 (YPBCO) の時間分解過渡的反射率変化測定とテラヘルツ波放射測定を行った結果について述べた。その結果、YPBCO の超伝導状態の反射率変化は、YBCO とは異なる減衰過程を示し、これを Pr ドープによって電子状態が変化したとして説明した。一方、テラヘルツ波放射の時間波形は YBCO と酷似しており、準粒子の緩和過程は変化していない事が示された。

7 章では、イオンビーム照射による YBCO 薄膜表面の平坦化処理に伴う表面の物性変化を時間分解過渡的反射率

変化測定やラマン測定等の光学測定を用いて調べた。その結果、表面の酸素欠損やキャリア密度の減少はないが、超伝導特性が劣化する事が示された。そして、時間分解過渡的反射率変化測定が、薄膜処理プロセス中の特性評価に応用できる事が示された。

8章では、本研究を総括し、今後の展望について述べた。

### 論文審査の結果の要旨

光学応答（電磁応答を含む）の測定に光源としてしばしば用いられるレーザーは、フェムト秒領域の時間応答を調べることができる程、その短パルス化の技術開発が進んでいる。その結果、フェムト秒レーザーによる超高速光応答の研究が盛んに行われ、また、新たな測定手法が提案されている。本論文では、フェムト秒レーザーを用いた測定方法を固体材料の物性研究へ応用すること目的として、フェムト秒レーザーを用いて放射されたテラヘルツ波を光源とする分光システムを構築し、半導体や誘電体の物性評価を行っている。また、フェムト秒レーザーを用いて高温超伝導体の時間分解過渡的反射率変化やテラヘルツ波放射を測定し、超高速光応答から物性を調べている。本研究の主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1)透過型テラヘルツ時間領域分光システムを構築し、テラヘルツ波領域の透過率と位相差から、その領域の複素屈折率を直接求めることを可能にしている。そして、通常使用されている比較的大型のモード同期 Ti:sapphire レーザーの代わりに小型で低出力のファイバーレーザーを用いたコンパクト型分光システムを試作し、このシステムでも Ti:sapphire レーザーに匹敵する精度で測定が可能であることを示している。
- (2)構築した透過型テラヘルツ時間領域分光システムを用いて行った n 型シリコンの測定では、低温で Drude モデルとの不一致を示すことから、単純な Drude モデルは低温の自由キャリアによる電磁応答を説明するには不十分であることを明らかにしている。また、有機非線形光学結晶の DAST の測定では、テラヘルツ波領域の光学定数の測定結果を基に計算されたテラヘルツ波放射の効率は、これまで実験的に報告された結果と一致することを明らかにしている。
- (3)反射型テラヘルツ時間領域分光システムを構築し、位相補正の問題に対して光学定数の既知な平行平板試料を張り合わせる方法を提案し、1 THz で誤差  $10^{-2}$  rad 以下の精度で位相差を補正することに成功している。
- (4)フェムト秒レーザーを用いた時間分解過渡的反射率変化測定とテラヘルツ波放射測定の結果から、Pr 置換によって  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  の超伝導特性を変化させた試料である  $\text{Y}_{0.7}\text{Pr}_{0.3}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  の電子状態が  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  のそれとは異なることを示す一方、光励起された準粒子の緩和時間は殆ど同じであることを示している。また、この手法をイオンビーム照射により平坦化処理を行った  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  薄膜表面の評価に応用し、平坦化処理が表面の超伝導特性を劣化させることを示唆している。このことから、この手法が処理プロセス中の薄膜の特性評価に応用できることを示している。

以上のように、本論文はフェムト秒レーザーを用いた測定手法の物性研究への有効性を調べたものである。テラヘルツ時間領域分光法では従来の分光法とは異なり、時間波形を測定できる為、新たな物性研究の手法として有力であることを半導体等の測定から見出している。また、フェムト秒レーザー励起による超高速光応答の測定では、他の光学測定とは別の重要な材料物性に関する情報を与えることを示している。これらの成果は、応用物理学、特に固体分光学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。