

Title	Development of broadband and rapid THz-TDS system and its application to measurement of superconducting thin films
Author(s)	下里, 弘
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/54248
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

【44】

氏名	下 重 弘
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 23425 号
学位授与年月日	平成21年10月16日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学位論文名	Development of broadband and rapid THz-TDS system and its application to measurement of superconducting thin films (広帯域・高速テラヘルツ時間領域分光法の開発と超伝導体薄膜測定への応用)
論文審査委員	(主査) 教授 伊藤 正 (副査) 教授 北岡 良雄 教授 宮坂 博 准教授 芦田 昌明

論文内容の要旨

テラヘルツ波 (THz波) は、0.1-10THzの周波数領域 (THz領域) に属する電磁波である。近年のレーザーを始めとしたデバイス技術の向上に伴ってTHz波観測技術が急速に発展し、応用への高い期待もあり注目を集めている研究分野である。物性測定にTHz波を利用する場合、THz時間領域分光 (THz-TDS) が、複素屈折率・誘電率といった物性パラメータを正確に導出できるメリットがあり、有用である。しかし現行のTHz-TDSでは観測周波

数帯域が狭く、測定に膨大な時間がかかるという問題がある。本研究では、これらの問題を解決するため、13fsの超短パルスレーザー・光伝導アンテナ・シェーカーを組み合わせ、広帯域・高速THz-TDSシステムを開発した。測定光学系は、全体が密閉できるボックス内にコンパクトに組まれ、窒素置換を行い空気中の水蒸気による吸収を避けることができる。また、低温測定用のクライオスタットも装着可能である。レーザーのパルス幅はスペクトルが広がるよう最適化を行った。実験結果として、0.1-12THzの広帯域でのスペクトルが得られ、測定時間は従来法の10分の1以下にまで短縮された。さらに、この広帯域・高速THz-TDSシステムを超伝導体MgB₂薄膜の測定に適用した。MgB₂は、転移温度 (T_c) が高く、2つの超伝導ギャップを持つ物質として注目を集めている。THz-TDSは物性解析において有効であり、超伝導体の解析手法として期待されている。これまでも、THz-TDSでの観測が行われてきているが、観測周波数が狭さから、1つ目のギャップのみの観測が達成されている。本研究では、これまで開発してきた広帯域・高速THz-TDS系を用いて、MgB₂薄膜の低温・透過測定を行った。T_c以下での電場波形・スペクトルが大きく変化し、透過率・光学伝導度でも超伝導ギャップが開く様子を明確に観測した。また、従来の2倍のスペクトル領域で、また1/10の短時間で観測に成功しており、開発したTHz-TDSシステムの有用性が示された。

論文審査の結果の要旨

テラヘルツ波領域はかつて遠赤外領域と呼ばれ、低エネルギーの素励起 (格子振動、分子振動、超伝導ギャップの観測など) が行われていたが、光源の強度とディテクターの感度の不足から、吸収、反射の定常測定が行えたのみで、可視域の電子励起状態の詳細な測定に比べて、大きく立ち後れていた。最近著しい発展を見せる超短パルスレーザーと組み合わせたテラヘルツ発生と検知手法の発展、特に時間領域分光法は、テラヘルツ電磁波の振幅と位相の同時解析が可能であり、しかもサブピコ秒レベルでの時間分解分光測定による素励起のダイナミクスを探ることができる点に大きな可能性と魅力が存在する。しかしながら、時間領域分光は幅広い周波数領域 (広帯域) での測定が必要であり、測光時間も長時間に亘るなど、物性測定など具体的な応用に向けては解決すべき課題が少なくない。

本論文では、前半では、これらの問題を解決するため、13fsの超短パルスレーザーの導入、光伝導アンテナの最適化、シェーカー利用による実時間計測を組み合わせ、0.1-12THzに及ぶ広帯域化の実現と共に、測定時間を従来の10分の1に縮めることにも成功し、高性能な広帯域高速THz-TDSシステムを実現した。さらに、装置全体を乾燥窒素ガスで置換することにより水蒸気による不要な吸収を取り除き、試料を1Kの温度まで冷やすことのできるクライオスタットを組み込むなど、物性測定に向けての各種整備を行っている。

ついで、論文の後半では2つの超伝導ギャップを持つ物質として注目を集めているMgB₂について、超伝導ギャップのテラヘルツ応答の観測を行い、臨界温度を挟んで超伝導ギャップが開く様子が誘電率の実部、虚部における広帯域に亘る特異な変化として、捉えられた。しかしながら、第2の超伝導ギャップエネルギー付近には臨界温度付近での顕著な変化は未だ観測されておらず、これについては、用いた薄膜試料の問題か、この物質の第2超伝導ギャップの特異性に依るものかについて、新たな課題を提起している。このように、本研究で開発したTHz-TDSシステムの有用性が示された。

以上のように、本論文は、テラヘルツ領域の精密測定を可能とする広帯域・高速THz-TDSシステムを開発すると共に、それを用いた超伝導体の超伝導機構に関する物性測定の有効性を示したものであり、新規測定手法開発という工学的な寄与のみならず、基礎物性測定にも新たな手法を提供するものとして基礎・応用研究の発展に貢献するところが大きく、博士 (工学) として価値あるものと認める。