

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18740190

研究課題名（和文） 高温超伝導体を用いたテラヘルツ発光素子の開発

研究課題名（英文）Development of Tera Hz emission device with high T_c superconductivity

研究代表者

小嶋 健児（KOJIMA KENJI）

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号：60302759

研究成果の概要：

単結晶格子に複数枚の CuO₂ 面を持つ、いわゆる多層系高温超伝導体の面間（c 軸）方向の光学伝導度には、超伝導とともにテラヘルツ領域に現れる特徴的な応答があり、物質とドーピング量をパラメータにして、その生成機構を探った。さらに、外部磁場によってより低エネルギーに誘起される光学モードがイットリウム系高温超伝導体には存在し、テラヘルツ発光素子の開発を目指して、その性質を研究した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,800,000	0	1,800,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	210,000	3,710,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：テラヘルツ、高温超伝導、多層系、光学応答、磁場誘起

1. 研究開始当初の背景

テラヘルツ周波数帯は、マイクロ波（ギガヘルツ帯）と赤外光（波長 = 数 μm ）の中間の周波数領域に属し、これまで開発されたマイクロ波と光、どちらの発生手法からも困難が生ずるため、強い光源が開発されていなかった。近年、爆発的に発展した携帯電話などの通信機器や、パソコンなどの情報機器は、ギガヘルツ帯を用いているが、テラヘルツ帯は、さらに3桁周波数が高いため、それが利用可能になれば、情報通信に使えるバンド幅が飛躍的に広がる。次世代の情報通信技術を開発

するため、強いテラヘルツ光源の開発が焦眉の課題となっていた。一方、YBCOのような、単格子内に複数枚CuO₂面を持つ多層型高温超伝導体のc軸光学伝導度には、多層内の超伝導応答によると思われる特徴的な応答が $400\text{cm}^{-1} = 12\text{THz}$ 程度のテラヘルツ領域に現れ、その生成機構と T_c や構造、超伝導の異方性が異なる物質間の共通性に興味もたれていた。

2. 研究の目的

本研究では、高温超伝導体の層状構造と外部磁場との組み合わせで現れる、磁場誘起型の光学活性モードの発現機構を明らかにし、外部磁場によって周波数がチューナブルな、テラヘルツ発光素子の開発を視野に入れた研究を行なうこと。

3. 研究の方法

単位結晶格子に複数枚 CuO₂ 面を持つ高温超電導物質には、イットリウム系高温超伝導体 (YBCO)、ピスマス系高温超伝導体 (Bi2212)、水銀系高温超伝導体などがある。そのそれぞれの物質の特徴を利用しつつ、超伝導磁気光学応答の起源に迫った。

(1) イットリウム系高温超伝導体 (YBCO) に関して、超伝導磁気光学応答が最大となる物質条件を探索した。まず、試料を引き上げ法によって作成の後、酸素・空気アニールによって、キャリア数をコントロールし、c 軸光学応答の 20~50cm⁻¹ 付近に現れる、磁場誘起型光学活性モードの強度とアニール温度および、超伝導転移温度 (T_c) の相関を測定した。

(2) CuO₂ 面の積層枚数が 1 枚から最大 5 枚までコントロールできる、水銀系高温超伝導体の c 軸光学応答と外部磁場に対するその変化も測定した。

(3) マイクロ波分光で発光が報告されている、ピスマス系高温超伝導体に関して、その T_c が最高になる条件を模索した

4. 研究成果

(1) YBCO に関して、T_c=54K, 59K, 65K, 80K の試料の中で、T_c=59K の試料の磁場誘起モードの強度が最も強く、キャリア数とその最適キャリア数より多くても少なくても、強度が低下することが明らかになった。この最適キャリア数は、ゼロ磁場下でも現れる別の光学活性モード (400cm⁻¹モード) がもっとも明瞭に現れるキャリア数と一致し、これまで別々の現象と思われていた、磁場誘起型光学活性モードと、ゼロ磁場下の 400cm⁻¹モードが、実は密接なかかわりを持っている可能性を示唆している。

(2) ゼロ磁場下で現れる「400cm⁻¹」モードが、多層系高温超伝導体にユニバーサルな光学応答であることを発見し、さらに磁場依存性から、超伝導転移がそのモードの形成に関与していることを明らかにした。YBCO において 400cm⁻¹程度であった、このモードのエネルギーは、水銀系多層系高温超伝導体では、800cm⁻¹程度と

、実に 2 倍のエネルギースケールを持っており、このことが水銀系多層高温超伝導体の高い超伝導転移温度 (T_c) に寄与している可能性を示唆している。

(3) ピスマス系高温超伝導体において、CuO₂ 面外の乱れが T_c に効いていることが示され、通常 96 K 程度である T_c を 98.5 K まで改善することができた。この T_c の改善と発光強度の関連に興味を持たれている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

H. Hobou, S. Ishida, K. Fujita, M. Ishikado,

K.M. Kojima, H. Eisaki, and S. Uchida,

“Enhancement of the superconducting critical temperature in Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+d} by controlling disorder outside CuO₂ planes”, Phys. Rev. B, 79, 64507 1-9 (2009), 有

K.M. Kojima, et al.,

“Magnetism and superconductivity of an electron-doped superconductor (Sr_{1-x}Lax)CuO₂”, Physica B, 374-375, 207-210, (2006), 有

K.M. Kojima, S. Uchida, Y. Fudamoto and S. Tajima,

“Transferred spectral weight from the pseudo-gap: Magnetic field dependence of the c-axis optical response in YBa₂Cu₃O_{6.6}”, J. Phys. Chem. Solids, 67, 232-234, (2006), 有

[学会発表](計 4 件)

K.M. Kojima, Y. Fudamoto, S. Tajima, S. Uchida,

“Optical response of Josephson vortices: underdoped YBCO”, 第 8 回超伝導国際会議 (M2S-HTSC-VIII), ドレスデン, (2006), 招待講演

6 . 研究組織

(1)研究代表者

小嶋 健児 (KOJIMA KENJI)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号：60302759

(2)研究分担者

(3)連携研究者