

研究タイトル：

BSCCO／酸化物半導体ヘテロ接合の界面物性

氏名： 山田靖幸／YAMADA Yasuyuki E-mail: yyamada@oyama.kosen-ac.jp

職名： 准教授 学位： 博士(情報科学)

所属学会・協会： 応用物理学会，日本セラミックス協会

キーワード： 超伝導，薄膜，半導体，ナノ粒子

技術相談
提供可能技術：
・セラミックス材料の合成
・セラミックス材料の分析



研究内容： BSCCO／酸化物半導体ヘテロ接合における界面物性とその光制御に関する基礎研究

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ (BSCCO) は、超伝導層 (CuO_2 面) と絶縁層が原子スケールで交互に積層された層状物質であり、テラヘルツ波源として注目される他、量子ビットなどの量子技術応用において重要な役割を果たすことも期待されている。さらに、光照射によるキャリア注入 (Photo Carrier Injection: PCI) は、超伝導体材料のキャリア密度や電子状態を光照射によって非接触かつ動的に制御可能とする手法で、BSCCO を用いた次世代量子・光・テラヘルツデバイス開発において鍵となる技術である。PCI は、従来の化学的ドーピングや電場効果による制御では困難な高速・空間選択的な物性制御を実現する技術であり、BSCCO を含む遷移金属酸化物に対する新たなキャリア制御手法として注目されている。

BSCCO における PCI は、超短パルスレーザーや THz 波といった特殊な光源や、グラフェンなどの特殊な材料を用いるため、研究の敷居が高く、設備や材料の制約から広範な応用展開が限定的であった。我々が取り組んでいる有機金属分解 (MOD) 法によるヘテロ接合作製プロセスは、溶液プロセスの一種であり、金属の有機酸塩溶液を基板上に塗布後、熱処理により薄膜を形成する簡便な手法である。本手法は材料の多様性に富み、組成の精密制御が可能である。半導体薄膜へのドーパント添加も、原料溶液の混合により任意の濃度で均一に行うことができる。その一方で、多層構造作製時の熱処理による下層への影響を考慮したプロセス最適化が不可欠である。本研究では、BSCCO における PCI の新しい実現方法として、MOD 法により BSCCO と酸化物半導体とのヘテロ接合を作製し、その光起電力効果による PCI の実現を目指す。その際に、接合界面がどのような性質を有するかを明らかにし、PCI が起こる条件を検討する。

これまでに、p 型半導体 Cu_2O および n 型半導体 ZnO とのヘテロ接合において空間的に平均的な電気伝導特性を評価する方法として、図 1 に示すような概形の試料を作製して van der Pauw 法[1]を適用した。その結果、図 2 のように、いずれの半導体とのヘテロ接合においても、下層の BSCCO 層が液体窒素温度以上で超伝導遷移することを確認している[2,3]。また、BSCCO/ Cu_2O 接合が良好なオーミック接触を形成すること、BSCCO/ ZnO 接合では非線形性および整流性が見られることを確認している。現在は、電気伝導特性の局所的ばらつきを可視化するマッピング測定を進めている。

- 参考文献： [1] L. J. van der Pauw, Philips Res. Rep. 13, 1 (1958)
[2] 山田 他, 2024 年 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-P07-19
[3] Y. Yamada et al., J. Phys. Conf. Ser. 3054, 012029 (2025)

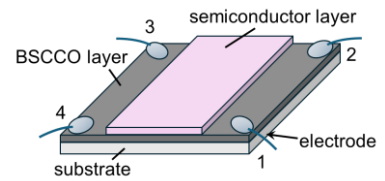


Figure 1. Schematic diagram of BSCCO/Semiconductor junction.

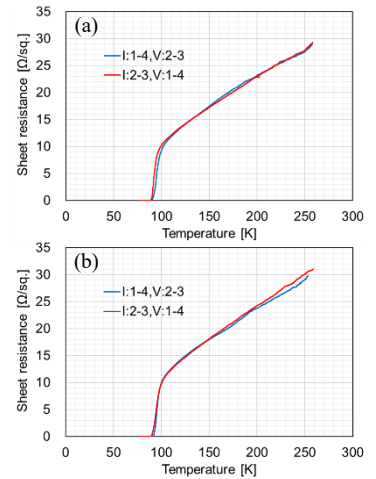


Figure 2. RT properties of the BSCCO layer.
(a) BSCCO/ Cu_2O junction
(b) BSCCO/ ZnO junction

提供可能な設備・機器：

名称・型番(メーカー)

Interfacial Properties of BSCCO/Oxide Semiconductor Heterojunctions



Name	YAMADA Yasuyuki	E-mail	yyamada@oyama.kosen-ac.jp
Status	Associate Professor		
Affiliations	The Japan Society of Applied Physics (JSAP) The Ceramic Society of Japan (CerSJ)		
Keywords	Superconductivity, Thin Films, Semiconductors, Nanoparticles		
Technical Support Skills	<ul style="list-style-type: none"> • Synthesis of ceramic materials • Analysis of ceramic materials 		

Research Contents

Interfacial Properties and Photo-Control in BSCCO/Oxide Semiconductor Heterojunctions

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ (BSCCO) is a layered material composed of alternating superconducting (CuO_2 planes) and insulating layers at the atomic scale. It has attracted attention as a potential terahertz wave source and is also expected to play an important role in quantum technology applications such as quantum bits. Furthermore, photo carrier injection (PCI), which enables non-contact and dynamic control of carrier density and electronic states in superconducting materials via light irradiation, is regarded as a key technology for the development of next-generation quantum, optical, and terahertz devices based on BSCCO. PCI is a technique that enables high-speed and spatially selective control of physical properties, which is difficult to achieve using conventional chemical doping or electric field modulation. As such, it is attracting attention as a novel approach to carrier and property control in transition metal oxides, including BSCCO.

However, previous studies on PCI in BSCCO have required specialized light sources such as ultrafast pulsed lasers or terahertz radiation, as well as advanced materials such as graphene. These requirements have posed a high barrier to entry for research and have limited the broader applicability of PCI due to constraints in equipment and materials. In this study, we focus on a fabrication process for heterojunctions using the metal-organic decomposition (MOD) method, which is a type of solution process. In this method, a solution of metal organic acid salts is applied to a substrate and then heat-treated to form a thin film. This approach is simple and versatile, allowing for precise control of composition and uniform doping of semiconductor thin films at arbitrary concentrations through precursor solution mixing. On the other hand, when fabricating multilayer structures, it is essential to optimize the process to minimize the thermal impact on underlying layers. As a new approach to realizing PCI in BSCCO, this study aims to fabricate BSCCO/oxide semiconductor heterojunctions using the MOD method and to investigate the realization of PCI through the photovoltaic effect at the junction interface. In doing so, we aim to clarify the nature of the interfacial properties and examine the conditions under which PCI occurs.

To date, we have fabricated samples with the geometry shown in Figure 1, using p-type semiconductor Cu_2O and n-type semiconductor ZnO , and evaluated their spatially averaged electrical transport properties using the van der Pauw method [1]. As shown in Figure 2, we have confirmed that in both types of heterojunctions, the underlying BSCCO layer undergoes a superconducting transition above liquid nitrogen temperature [2,3]. Furthermore, we have observed that the BSCCO/ Cu_2O junction forms a good ohmic contact, while the BSCCO/ ZnO junction exhibits nonlinearity and rectifying behavior. Currently, we are conducting mapping measurements to visualize local variations in electrical conductivity.

References:

- [1] L. J. van der Pauw, Philips Res. Rep. 13, 1 (1958)
- [2] Y. Yamada et al., 2024 Autumn Meeting of the Japan Society of Applied Physics, 16p-P07-19
- [3] Y. Yamada et al., J. Phys. Conf. Ser. 3054, 012029 (2025)

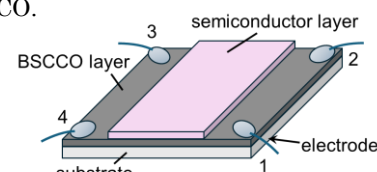


Figure 1. Schematic diagram of BSCCO/Semiconductor junction.

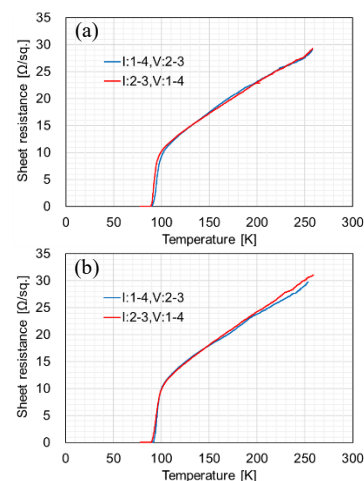


Figure 2. RT properties of the BSCCO layer.
 (a) BSCCO/ Cu_2O junction
 (b) BSCCO/ ZnO junction

Available Facilities and Equipment
