



研究課題名 希土類単酸化物の創製による 4f・5d 電子系新機能の探索

東北大学・材料科学高等研究所・教授

ふくむら ともてる
福村 知昭

研究課題番号： 21H05008

研究者番号： 90333880

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 152,000千円

キーワード： 希土類単酸化物、エピタキシャル薄膜、ヘテロ構造、5d 電子、4f 電子

【研究の背景・目的】

安定な希土類の単酸化物は主にセスキ酸化物 R_2O_3 (R : 希土類元素) で、高誘電率をもつ強固な絶縁体である。しかし、希土類元素の 5d・4f 電子は大きなスピン軌道相互作用をもつため、もし希土類酸化物が電気伝導性をもつと、有用な電子・磁気材料となる可能性がある。実際、電気伝導性をもつ希土類単酸化物として唯一の安定相である EuO は、スピントロニクス材料として研究されている。最近、研究代表者らは岩塩構造をもつイットリウム単酸化物 YO の固体を合成することに初めて成功した。パルスレーザー堆積法を用いてエピタキシャル薄膜を作製することで、準安定相である YO が得られる。Y は安定な 3 価でなく 2 価のイオンで d 電子をもつため、YO は高い電気伝導性を示す。合成に成功した他の希土類単酸化物も概ね電気伝導性は高く、新しい強磁性体や超伝導体も見つかった。 R_2O_3 は複雑な C-希土型構造をとるが、希土類単酸化物 RO は単純な岩塩構造で格子定数も同等のため、薄膜成長を活用して、超格子などのヘテロ構造の作製への展開が可能である。4f 電子数に応じて物性が大きく変わっていることを考えると、異なる希土類単酸化物のヘテロ構造では、さらに多様な物性が現れることが期待できる。そこで、本研究の目的は、(1) 希土類単酸化物をすべて合成して物性を解明し、機能性電子・磁気・超伝導材料としてのポテンシャルを明らかにすることと、(2) ヘテロ構造や固溶体を合成し、電子・磁気・超伝導物性と新機能を開拓することである。

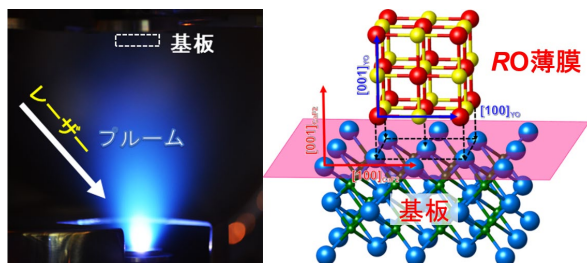


図 1 紫外レーザー (左) で合成できる岩塩構造希土類単酸化物の結晶構造 (右)

【研究の方法】

すべての希土類単酸化物の薄膜合成を行い、光学・電気・磁気特性を解明する。そして、希土類単酸化物の半導体に対する有効なキャリアドーパントを探索する。放射光計測グループとの共同研究により光電子

分光でも電子状態を調べる。また、固溶体の合成も行い、磁性や電気伝導性が組成に対して連続的に変化するのか明らかにする。

ヘテロ構造については、希土類単酸化物強磁性体と非磁性金属とのヘテロ接合における強磁性近接効果や、希土類単酸化物超伝導体と希土類単酸化物強磁性体とのヘテロ接合における超伝導近接効果を調べ、2 次元ホールガスやトリプレットクーパー対の形成などヘテロ構造や界面における新物性・機能開拓をねらう。くわえて、極低温走査型トンネル顕微鏡を用いて、界面の電子・スピン状態のマッピングを行い、ミクロな電子状態を解明する。

【期待される成果と意義】

希土類単酸化物の気体は古くから知られているものの、その固体は主に、軽希土類単酸化物の多結晶が約 40 年も前に高压合成されて以降、強磁性半導体の EuO 以外は基礎物性さえほとんど調べられていない。つまり、希土類単酸化物は単純な組成と結晶構造をもつにも関わらず、ほとんど合成されておらず、基礎物性もわかっていなかった。しかし、我々が合成した希土類単酸化物は、よく知られた 3d 遷移金属単酸化物と対照的に、顕著な電気伝導性と磁性を示す。くわえて、単純な岩塩構造の単酸化物であるため、薄膜技術でそれらを組み合わせたヘテロ構造や固溶体も合成可能である。これらの多様な物性は、電子・磁性・超伝導・スピントロニクス・トポロジカル材料といった、日本発の新材料シリーズになる可能性がある。そして、これまで系統的な研究がなかった電気伝導性 4d・5f 電子系化合物の基礎物性や応用可能性について、様々な分野における有用な知見が得られると期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Yamamoto *et al.*, “Rock-salt structure GdO epitaxial thin film with a high ferromagnetic Curie temperature”, *Appl. Phys. Lett.* **117**, 052402 (2020).
- ・ K. Kaminaga *et al.*, “Superconductivity of rock-salt structure LaO epitaxial thin film”, *J. Am. Chem. Soc.* **140**, 6754–6757 (2018).
- ・ K. Kaminaga *et al.*, “A divalent rare earth oxide semiconductor: Yttrium monoxide”, *Appl. Phys. Lett.* **108**, 122102 (2016).

【ホームページ等】

<http://issc.chem.tohoku.ac.jp/FukumuraLabHP/home.html>