

令和7年7月15日

各報道機関文教担当記者 様

高性能合金膜をより簡便に レーザーを活用した新しい形成技術の開発に成功

金沢大学理工研究域機械工学系の宮嶋陽司教授、石川和宏教授、同大学院自然科学研究科機械科学専攻博士前期課程（研究当時）の箕輪大生、棚田大輔、インド工科大学ハイデラバード校のPinaki Prasad Bhattacharjee教授、英国ストラスクライド大学のStephen M. Lyth 博士らの共同研究グループは、複数の純金属片を組み合わせた独自の回転ターゲットとパルスレーザー堆積法（※1）を用いることで、高価な合金ターゲットを使わずに、さまざまな材料の表面に高性能なハイエントロピー合金（※2）薄膜を形成する新しい手法を開発しました。

本手法は、レーザー照射によって叩き出された金属原子が、基板の表面に堆積するだけでなく、表面直下の内部にまで打ち込まれる（インプランテーション）ことで、薄膜を形成するというユニークな特徴を持ちます。これにより、基板材料と一体化した強固な機能性薄膜の作製が可能になります。

従来のハイエントロピー合金薄膜の作製には、あらかじめ作製した高価な合金の塊（ターゲット）が必要でしたが、本研究で開発した手法は、安価な純金属を用いることで、コストを大幅に削減できます。さらに、成膜時の圧力を調整することで膜の厚さや深さを精密に制御できることも明らかにしました。

これらの知見は、将来さまざまな工業製品の表面に、耐熱性、耐食性、ガスバリア性といった新たな機能を安価かつ簡便に付与する技術として、航空宇宙、自動車、エネルギー、医療デバイスなど幅広い産業分野への応用が期待されます。

本研究成果は、2025年6月17日に『Optics & Laser Technology』のオンライン版に先行掲載されました。なお、2025年12月発行の印刷版に正式掲載される予定です。

【研究の背景】

ハイエントロピー合金（HEA）は、5 種類以上の元素をほぼ同じ割合で混ぜ合わせて作られる新しい概念の合金です。従来の合金の常識を覆す、優れた機械的特性や耐熱性、耐食性を示すことから、次世代の構造材料や機能性材料として世界中で活発な研究が行われています。

この優れた特性を、材料全体の性質を変えるのではなく、表面の薄膜として利用できれば、より低コストで幅広い応用が可能になります。しかし、多種類の元素を均一に混ぜ合わせた薄膜（ハイエントロピー合金薄膜）を形成するには、高価な合金ターゲットを用意したり、複数のターゲットを同時に制御したりする必要があり、プロセスが複雑で高コストになるという課題がありました。

【研究成果の概要】

本研究グループは、パルスレーザー堆積法（PLD 法）に着目し、高価な合金ターゲットを使わない新しい成膜手法を考案しました。具体的には、代表的なハイエントロピー合金であるカンター合金（※3）を構成する 5 種類（クロム、マンガン、鉄、コバルト、ニッケル）の純金属の扇形プレートを円盤状に組み合わせた、独自の「回転式マルチターゲット」を設計しました。

このターゲットを回転させながらパルスレーザーを照射することで、叩き出された多種類の金属原子が基板に到達し、複雑に混ざり合ったハイエントロピー合金薄膜が形成されます。実験では、ガラス、アルミニウム、鉄鋼といったさまざまな種類の基板上に、厚さ数百ナノメートルまでの薄膜を形成することに成功しました。

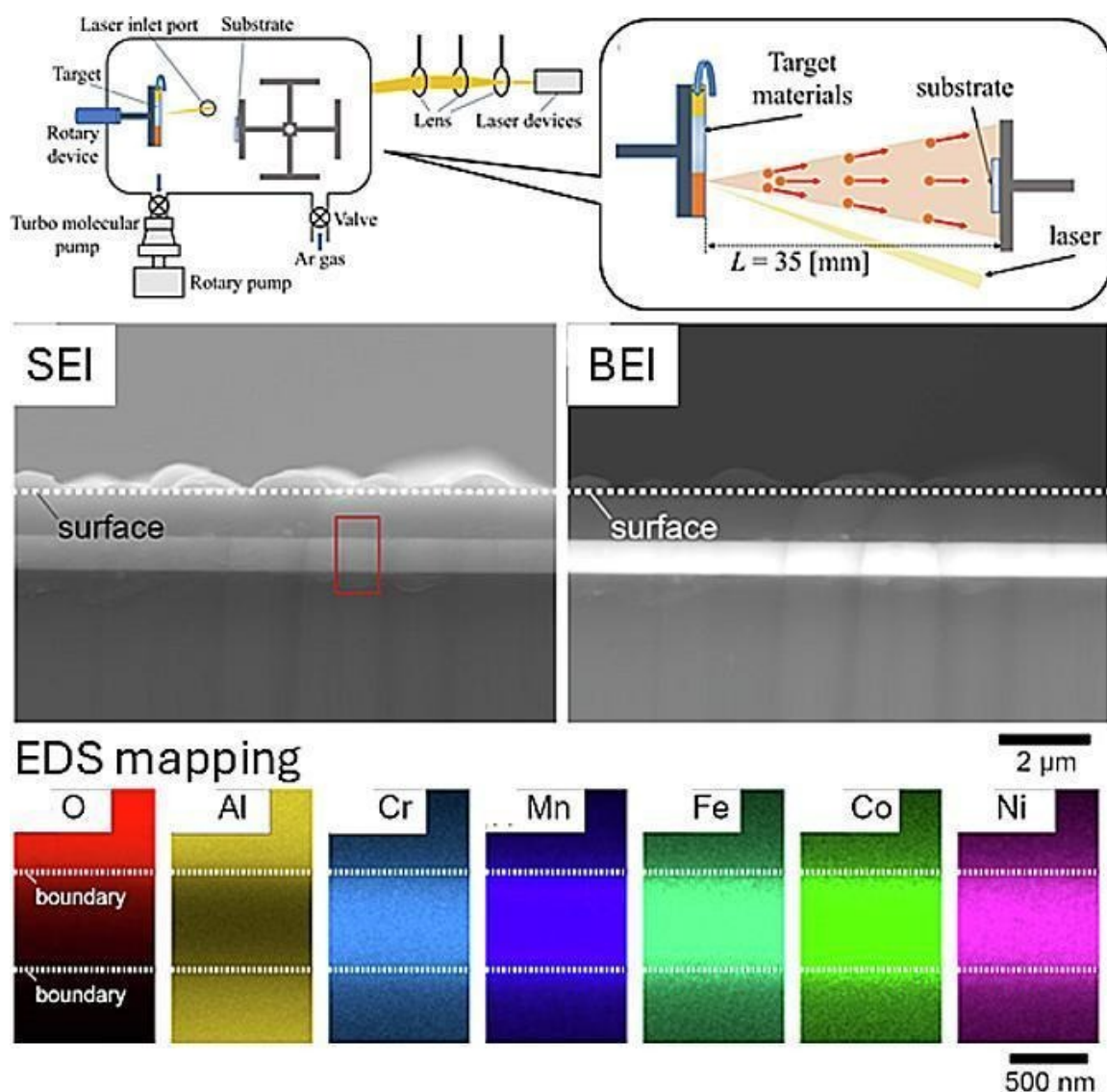
さらに、形成された薄膜の断面を詳細に分析した結果、膜は単に基板の表面に堆積するだけでなく、レーザーで加速された原子が基板内部に叩き込まれる「インプラネーション」によって、表面直下に形成されていることが明らかになりました。また、成膜チャンバー内のガス圧力を変えることで、原子の運動エネルギーを制御し、膜が形成される深さや厚さを自在に調整できることも見いだしました。本手法は、基板と一体化した密着性の高い機能性薄膜を、安価かつ簡便に作製できる新たな技術として、今後の材料開発に大きな可能性を拓くものです。

【今後の展開】

本研究により開発された手法は、基板の種類を選ばず、さまざまな材料表面の改質に応用できる汎用性の高い技術です。例えば、金属材料の表面に形成すれば、耐食性や耐磨耗性を向上させることができ、電子デバイスの部材に用いれば、酸素や水分の侵入を防ぐガスバリア膜としての機能が期待されます。ターゲットに用いる金属の種類や組み合わせを工夫することで、さらに多様な機能を持つオーダーメイドの合金薄膜を創出することも可能です。

今後は、実用化に向けた成膜条件の最適化や、さまざまな機能性薄膜の開発を進め、航空宇宙、自動車、エネルギー、医療デバイスなど、幅広い産業分野への貢献を目指します。

本研究は、公益財団法人スズキ財団の科学技術研究費補助金（2022 年度）、公益財団法人天田財団の一般研究開発助成 レーザー加工分野（AF-2021225-B3）、日本学術振興会の科学研究費補助金新学術領域研究（19H05168）、The Daiwa Anglo-Japanese Foundation（Ref: 14493/15338）、日本学術振興会特別研究員（短期滞在）、JICA（FRIENDSHIP2.0）の支援を受けて実施されました。



図：レーザーを用いた成膜装置の概念図と、電子顕微鏡による断面観察（二次電子像：SEI および反射電子像：BEI）、組成分析（EDS mapping）による酸素（O）、アルミニウム（Al）、クロム（Cr）、マンガン（Mn）、鉄（Fe）、コバルト（Co）、ニッケル（Ni）の分布の様子（SEI 像の赤枠部分）

【掲載論文】

雑誌名 : *Optics & Laser Technology*

論文名 : Formation of high entropy alloy films on various substrates via pulsed laser deposition using a rotating multicomponent target

(回転多成分ターゲットを用いたパルスレーザー堆積による各種基板上へのハイエントロピー合金膜の形成)

著者名 : Yoji Miyajima, Hiroki Minowa, Daisuke Tanada, Pinaki Prasad Bhattacharjeek, Stephen M. Lyth, Kazuhiro Ishikawa

(宮嶋陽司、箕輪大生、棚田大輔、Pinaki Prasad Bhattacharjeek、Stephen M. Lyth、石川和宏)

掲載日時 : 2025 年 6 月 17 日にオンライン版に掲載

DOI : doi.org/10.1016/j.optlastec.2025.113381

【用語解説】

※1 パルスレーザー堆積法 (PLD 法)

真空中でターゲットとなる材料に、非常に強力なパルス状のレーザー光を照射し、それにより叩き出されてプラズマ化した原子やイオンを、対向する基板に堆積させて薄膜を形成する技術。

※2 ハイエントロピー合金

複数の構成元素をほぼ同じ割合 (5~35%) で混ぜ合わせた新しい概念の合金。従来の合金では、微量にしか添加されなかった元素を主要元素として用いることで、高い強度や靱性、優れた耐熱性や耐食性など、既存の材料にはない特異な性質を示す。

※3 カンター合金

クロム (Cr)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni) の 5 つの元素を等しい原子比で混ぜ合わせた合金。2004 年に報告された、最も代表的なハイエントロピー合金の一つ。

【本件に関するお問い合わせ先】

■研究内容に関すること

金沢大学理工研究域機械工学系 教授

宮嶋 陽司 (みやじま ようじ)

TEL : 076-234-4716

E-mail : yoji-miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

■ 広報担当

金沢大学理工系事務部総務課総務係

宮本 頌子（みやもと しょうこ）

TEL : 076-234-6957

E-mail : s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp