

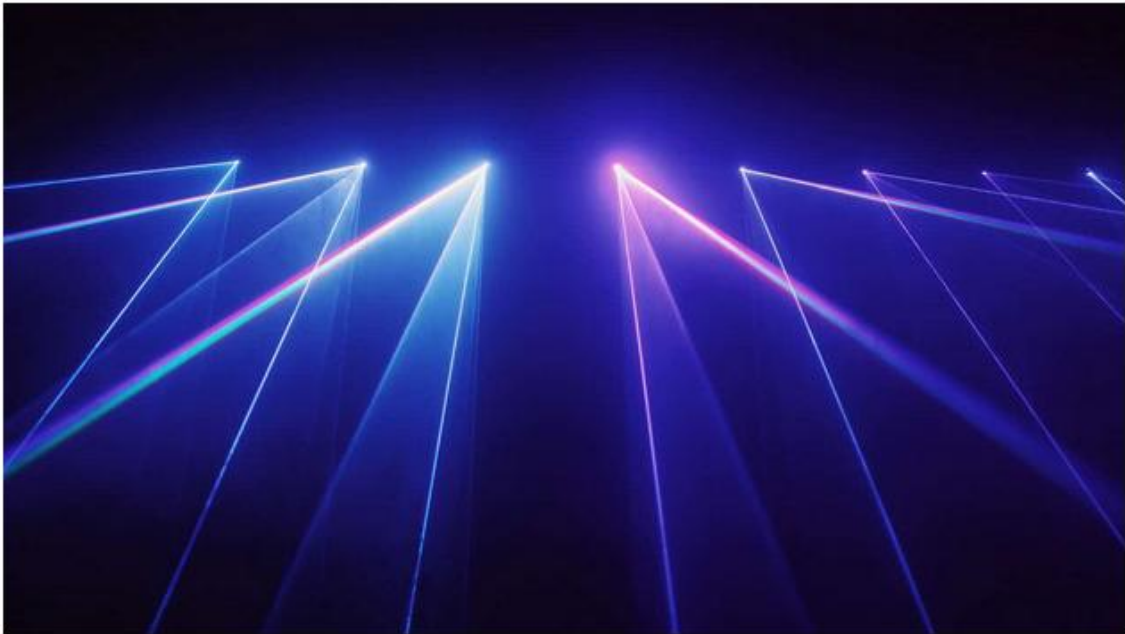
【ナノテクノロジー・材料分野】

仮訳

宇宙や防衛用途の超高温セラミック製造を革新するレーザー技術 (米国)

2025 年 5 月 29 日

著者 : Matt Shipman



ノースカロライナ州立大学(NC State)が、原子力発電技術から宇宙船、ジェット機の排気システムまで幅広いアプリケーションに利用可能な超高温に耐えるセラミックスを、レーザーを用いて製造する新技術を実証した。この新技術により、セラミックコーティング、タイルや複雑な 3 次元構造物の製造が可能となり、新デバイス・技術開発での汎用性を高めることができる。

「焼結とは、粉末または液体の原材料をセラミック材料に変換するプロセスです」と、本研究論文の共同責任著者であり、NC State の機械・航空宇宙工学教授の Cheryl Xu 氏は言う。「本研究では、炭化ハフニウム(HfC)と呼ばれる超高温セラミックスに焦点を当てています。従来、HfC の焼結には、少なくとも 2,200℃に達する炉にその原材料を入れる必要があり、時間とエネルギーを大量に消費するプロセスでした」。

「今回私たちが開発した技術は、より迅速、より容易で、エネルギー使用量もより少なく済むものです」。

新技術では、真空チャンバーやアルゴンガスを充填したチャンバーなどの不活性環境下で、液体のポリマー前駆体の表面に 120W のレーザーを照射する。レーザーは液体を焼結し、固体セラミックに変換する。この新技術は 2 種類の用途に使用できる。

一つ目は、ミサイルや宇宙探査機等の極超音速技術に使用される炭素複合材等の下地構造への液体前駆体のコーティング処理で、構造の表面に前駆体を塗布し、レーザーで焼結する。

「新技術の焼結プロセスでは構造全体を炉の熱にさらす必要がないため、炉内での焼結によって損傷を受けてしまう材料への超高温セラミックコーティング処理の可能性が期待できます」と Xu 教授は説明する。

二つ目は、積層造形(3D プリンティング)で、具体的にはステレオリソグラフィー(光造形法)である。

この技術では、液体ポリマー前駆体の入った槽に配置したテーブル上にレーザーを設置し、作製対象の構造のデジタル設計を作成してから、それを層状に「スライス」することで 3 次元構造を構築する。まず、レーザーがポリマー前駆体に構造の最初の層の輪郭を描き、絵に色を塗るようにその輪郭を埋めて行く。レーザーがこの輪郭を「埋めて行く」と同時に、熱エネルギーによってポリマー前駆体がセラミックに変換される。次に、ポリマー槽に向かってテーブルが少々降下し、構造の上面にブレードを通過させてその表面を均一にする。それからレーザーは構造の 2 番目の層を焼結し、このプロセスを繰り返すことで焼結セラミック製品が出来上がる。

「レーザーが液体前駆体のみを焼結していると言うのは、実際には少し単純化しすぎですね」と Xu 教授は言う。「つまり、レーザーは最初に液体ポリマーを固体ポリマーに変換し、次に固体ポリマーをセラミックに変換すると言う方がより正確です。しかし、これらは極めて高速で、実質的にワンステップのプロセスです」。

概念実証試験では、この新技術を用いることで、液体ポリマー前駆体から結晶性の純粋な HfC を生成できることを実証した。

「液体ポリマー前駆体からこれほどの品質の HfC を生成できた例は、私たちが知る限り初めてです」と Xu 教授は言う。「そして、超高温セラミックスは、その名の示す通り、原子力発電等の極度の温度に耐えられる技術が求められる幅広いアプリケーションに役立つものです」。

また、このレーザー焼結法を用いて、炭素繊維強化炭素複合材(C/C)に高品質の HfC コーティングを形成できることも実証した。セラミックコーティングが下地構造に結合し、剥離しないことを確認した。

「C/C 構造への HfC コーティングでは、強力な接着力、均一な被覆率、そして熱保護層および耐酸化層としての可能性を実証しました」と Xu 教授は説明する。「C/C 構造は、極超音速アプリケーションに加え、ロケットノズル、ブレーキディスク、ノーズコーンや翼前縁等の航空宇宙用熱保護システムにも使用されていることから、特に有用性が高いです」。

この新しいレーザー焼結技術は、複数の点で従来の焼結法よりも大幅に効率的である。

「従来の技術では数時間から数日かかっていた超高温セラミック構造作製とコーティング処理を、新技術では数秒から数分で実施できます」と Xu 教授は説明する。「また、レーザー焼結はより高速で局所的なプロセスであるため、消費エネルギーが大幅に削減されます。さらに、このアプローチはより高い収率を実現します。具体的には、前駆体質量の少なくとも 50%がセラミックに変換されます。従来技術では、前駆体の 20～40%しか変換されません」。

「そして、新技術は比較的持ち運びに便利です」と Xu 教授は言う。「もちろん、不活性環境は必要ですが、真空チャンバーと積層造形装置の輸送は、パワフルな大型炉を輸送するよりもはるかに簡単です」。

「セラミックスにおけるこの進展に胸が弾む思いです。この技術の実用化に向けて、官民のパートナーと協力したいと考えています」と Xu 教授は言う。

本研究の論文、[“Synthesis of Hafnium Carbide \(HfC\) via One-Step Selective Laser Reaction Pyrolysis from Liquid Polymer Precursor”](#)は、*Journal of the American Ceramic Society*に掲載されている。共同責任著者は NC State の機械・航空宇宙工学教授の Tiegang Fang 氏。共同筆頭著者は NC State のポスドク研究員の Shalini Rajpoot 氏と、同大学の博士課程学生の Kaushik Nonavinakere Vinod 氏。

本研究は、ノースカロライナ大学シャーロット校に拠点を置く Center for Additive Manufacture of Advanced Ceramics の支援を受けて実施された。

訳：NEDO（担当 イノベーション戦略センター）

出典：本資料は、ノースカロライナ州立大学(NC State)の記事 “Laser Technique Revolutionizes Ultra-High Temperature Ceramic Manufacturing for Space, Defense Applications” (<https://news.ncsu.edu/2025/05/laser-extreme-ceramics/>) を翻訳したものである。

(Reprinted with permission of North Carolina State University)