

分野:自然科学系 キーワード:高強度パルスレーザー・超高压・ダイヤモンド・ナノ材料

ダイヤモンドの秘密をまたひとつ明らかに

-日本の独自技術「ナノ多結晶ダイヤモンド」の世界最高強度を決定！-

❖ 本研究成果のポイント

- 高強度パルスレーザー^{※1}を用いた動的超高压実験^{※2}により、ナノ多結晶ダイヤモンド^{※3}の圧縮変形特性を解明。
- ナノ多結晶ダイヤモンドが、単結晶^{※4}ダイヤモンドの2倍以上の強度を有することを実証。これまでに公表されているあらゆる物質の中で最高の強度となる。
- 高速変形に対するナノ多結晶材料の優れた特性は、新材料開発やレーザー核融合^{※5}といった分野に直接影響。

❖ 概要

大阪大学大学院工学研究科 大学院生の片桐健登さん(博士後期課程2年、文科省委託事業特任研究員)と尾崎典雅准教授、および愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センターの入船徹男教授らの研究グループは、ナノ多結晶状態のダイヤモンドが高速変形する際の強度を明らかにしました。

小さな結晶を石垣のように隙間なく詰め込んだ多結晶材料は、同じサイズの単結晶材料よりも強くなると言われています。本研究チームは、その効果が最大になると考えられる数10ナノメートルサイズの微結晶を焼結させた、“ナノ多結晶”状態のダイヤモンドに超高压を加え、その強度を調べました。実験は国内最大パルス出力の激光XII号レーザー^{※6}を用いて行われ、地球中心圧力の4倍を超える1,600万気圧まで、体積が元の半分以下にまで変形していく様子を観察しました。

今回得られた実験データから、ナノ多結晶ダイヤモンド(NPD)が通常の単結晶ダイヤモンドに比べ2倍以上も高い強度を有することが明らかになりました。また、これまで調べられてきた全ての材料の中で最高の強度を示すことがわかりました。

本研究成果は2020年10月28日(水)13:00(日本時間)に、米国物理学会刊行の学術誌 *Physical Review Letters* での掲載に先立ちオンライン公開されます。

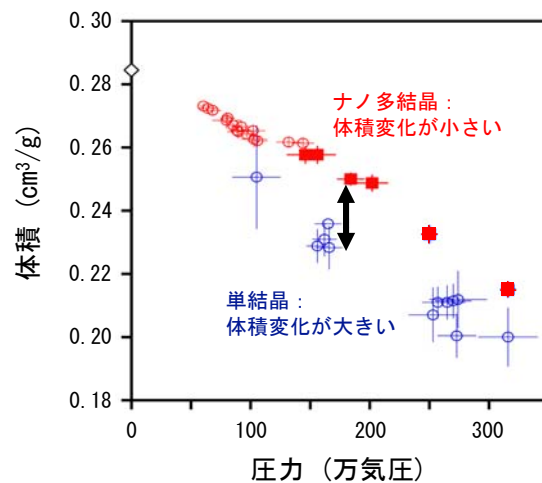
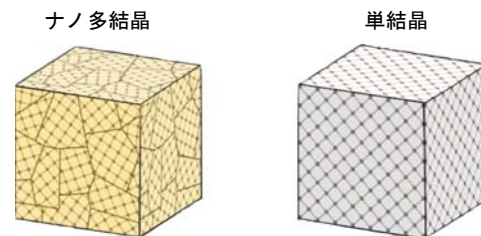


図 ナノ多結晶と単結晶の違い(上)と、実験で得られたナノ多結晶ダイヤモンドの圧力-体積の関係(下)。ナノ多結晶ダイヤモンドは単結晶ダイヤモンドに比べ変形しにくいことがわかる。

Press Release

❖ 研究成果の背景

材料を多結晶状態にすることによって、その強度が向上すること自体はよく知られています。しかしながら、結晶粒^{※7}をナノメートルレベルまで微細化したナノ多結晶体が、高速変形下でどのように振る舞うのかは明らかになっていませんでした。10 ナノメートル^{※8}サイズのダイヤモンド微結晶を高密度に合成したナノ多結晶ダイヤモンド(NPD)は、日本の独自技術の成果ですが、ナノ結晶間の相互作用が強度に顕著に影響することが明らかになったことから、超高強度材料としてさらに期待が高まるものと考えられます。

❖ 研究成果の内容

本研究グループは、単結晶と同等の密度に合成した NPD を、高強度パルスレーザーを用いて数ナノ秒^{※9}という非常に短い時間に高速変形させました。光のドップラー効果^{※10}を利用した独自の高精度観測システムによって、その圧縮変形特性をリアルタイムで計測することに成功しました。その結果、NPD が高速変形下でおよそ 208 万気圧もの弾性強度^{※11}を有することがわかりました。これは、単結晶ダイヤモンドの 2 倍以上の値です。NPD と単結晶ダイヤモンドにおける大きな強度の違いは、高速変形下におけるナノ結晶粒間の相互作用がより顕著に現れることを示しています。

❖ 本研究成果が与える影響

本研究成果は、極限環境で用いる構造材料や高性能セラミックスなど、高い強度が要求される材料の研究開発に影響を与えると考えられます。またレーザー核融合研究では、多結晶ダイヤモンドでできた球状のカプセルに燃料を入れて実験が行われていることから、初めて得られたナノ多結晶ダイヤモンドの圧縮変形特性は必要不可欠の知見といえます。

❖ 特記事項

本研究成果は 2020 年 10 月 28 日(水)13:00(日本時間)に、米国物理学会刊行の学術誌 *Physical Review Letters* での掲載に先立ちオンライン公開されます。

題名:「Shock response of full density nanopolycrystalline diamond」

邦訳:「高密度ナノ多結晶ダイヤモンドの衝撃圧縮特性」

著者:K. Katagiri, N. Ozaki, Y. Umeda, T. Irifune, N. Kamimura, K. Miyanishi, T. Sano, T. Sekine, and R. Kodama

本研究は、大阪大学レーザー科学研究所、愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センターそれぞれの共同利用・共同研究のもとに実施されました。また、文部科学省“光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)”「光量子科学によるものづくり CPS 化拠点 JPMXS0118067246」、および日本学術振興会科学研究費補助金の助成(16H02246、19K21866)、株式会社コンポン研究所の支援を受けて行われました。

Press Release

❖ 用語解説

※1 高強度パルスレーザー

数ジュールを超えるエネルギーを 10^{-9} 秒のような極めて短い時間内に集中させたレーザー光です。

※2 動的超高圧実験

物質が高速で変形するとき、物質内部に衝撃波(ショックウェーブ)が駆動され超高圧が発生します。この動的な超高圧を利用して物質の特性などを調べる研究手法のことです。

※3 ナノ多結晶ダイヤモンド

ゆっくりと圧力をかける大型プレス装置で人工的に合成されたナノ多結晶体です。愛媛大学の研究グループによって世界で初めて報告されました。ナノ多結晶体とは、ナノメートル(10 億分の 1 メートル)サイズの小さな結晶が集まって構成された固体のことを表します。

※4 単結晶

図のように原子が規則正しく並んだ状態の固体です。

※5 レーザー核融合

高強度レーザー照射により核融合反応を起こす手法です。球殻状に形成された容器に核融合燃料を入れ、容器ごと燃料を圧縮します。そのため、容器となる物質の動的圧縮下における物性は欠かせないものとなります。

※6 激光 XII 号レーザー

大阪大学のレーザー科学研究所にある世界有数の大型レーザー装置です。

※7 結晶粒

多結晶中の個々の単結晶の粒のことです。

※8 ナノメートル

10 億分の 1 メートル(10^{-9} メートル)のことです。

※9 ナノ秒

10 億分の 1 秒(10^{-9} 秒)のことです。

※10 光のドップラー効果

光の発生源と観測者と間の相対的な速度によって、光の周波数が異なって観測される現象のことをいいます。

※11 弾性強度

固体に外力が加えられた際に弾性を保つ限界の強度のことです。弾性強度以上の力を加えると、元の形状に戻らなくなります。高速変形の場合には特にユゴニオ弾性限界といえます。