

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04807

研究課題名(和文) 影響因子分類に基づく高温溶融塩中での六方晶窒化ホウ素の結晶外形変化の機構解明

研究課題名(英文) Elucidation of crystal morphologic change mechanism of hexagonal boron nitride in high-temperature molten salt based on data-driven classification of contribution factors

研究代表者

山田 哲也 (Yamada, Tetsuya)

信州大学・学術研究院工学系・助教

研究者番号：80623735

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではデータ駆動解析により、六方晶窒化ホウ素(h-BN)のフラックス法結晶成長における低アスペクト比化に資する因子の作用・非作用の分類に取り組んだ。この結果、フラックス由来の物性値のうち、カチオン・アニオン結合距離が作用することがわかった。このほか、h-BNとフラックス由来イオン間の吸着エネルギーの寄与を調べたところ、フラックス由来アニオンの吸着方位に依存する吸着エネルギー異方性が、結晶アスペクト比変化に寄与することがわかった。h-BNへのフラックス由来アニオンの寄与は、結晶成長中のh-BN側面キャッピング効果とそれによるab面方向の結晶成長抑制をともなう成長機構として説明可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究が提示した、フラックスによる溶質表面吸着の仮説は、結晶成長におけるアスペクト比が何によって決まるかを理解するうえでの重要な指針として、学術的意義がある。加えて本研究の重要因子に関する知見は、h-BNのみならず様々な層状化合物の結晶成長予測モデル構築に役立ち、定量的な結晶外形制御探索に繋がる展望が拓ける。結晶外形は、材料性能と密接にかかわりがある。例えば、h-BNは高性能な熱伝導材料として知られ、低アスペクト比化することで、放熱ファイラーの高伝導化・薄膜化・小型化ができる。よって、本知見が、機能的結晶材料の結晶外形を介した高性能化に資する社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, we classified contribution factors to low aspect ratios in the flux-based crystal growth of hexagonal boron nitride (h-BN) using data-driven analysis. As a result, we found that the cation-anion bonding distance that accords to flux-derived physical properties, plays an important role. In addition, we investigated the contribution of the adsorption energy between h-BN and flux-derived ions and found that the adsorption energy anisotropy, which depends on the adsorption orientation of the flux-derived ions, contributes to the change in the crystal aspect ratio. The contribution of flux-derived anions to h-BN can be explained as a growth mechanism involving the side capping effect on the surface h-BN during crystal growth, which suppresses crystal growth in the ab-plane direction, resulting in low-aspect ratio growth.

研究分野：溶液結晶成長

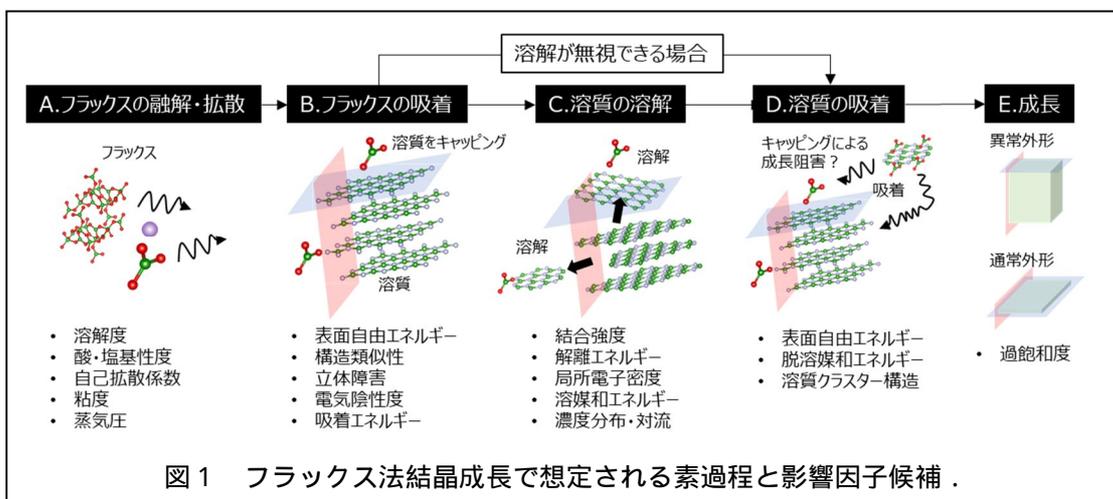
キーワード：フラックス法 窒化ホウ素 データ駆動科学 結晶成長制御

1. 研究開始当初の背景

(1)単結晶の結晶学的性質は材料特性と直結する。特に外観形状である結晶外形はアスペクト比や結晶面と関連し、複合材料においては物質充填密度や媒質輸送効率を左右するため、同じ単結晶粒子であっても、結晶外形の違いによって通常では見られない高い性能を引き出すことが可能となる。

(2)フラックス(高温溶融塩)は、独自の溶液反応場を作ることができるため、結晶外形変化を可能とする。フラックス法では一般に、結晶外形変化のための実験試行回数は30を超えることが大半であり、加えて結晶の大きさまで変える場合は、実験試行回数は更に膨大になる。このため、結晶開発には年単位の時間を要してしまう。これまでに報告者は、従来法による経験や勘に頼った仮説検証型の手法で、フラックス法を用いたh-BNの結晶育成に取り組んできた。この結果、既存に無い2-3ミクロンの低アスペクト比一次粒子結晶を得ることに成功している。しかし、アスペクト比制御は、30種類程度のフラックスによる150以上の試行実験を要し、既存以上の制御の限界に直面した。ここでアスペクト比は、h-BNのc軸粒径/ab軸粒径で定義する。

(3)結晶外形制御の指針として、結晶成長素過程を考える必要がある。しかし、図1に示す通りフラックス法の結晶成長素過程は多段階にわたり、各過程の寄与因子候補も多い。このため、各影響因子の定量的効果が不明かつ膨大な因子数で結晶成長を考えざるを得ず、成長理解や育成指針獲得が極めて困難である。これが、フラックス法結晶開発の難しさと言える。この課題解決には、フラックス法による結晶外形変化に対する各影響因子の作用・非作用の理解が重要となる。



2. 研究の目的

本研究では、h-BN をモデル化合物として、フラックス法による結晶外形変化の影響因子を理解し、その成長モデルを構築することを目的とした。このため、フラックス法におけるh-BNの結晶外形変化に関わる影響因子候補を作用・非作用に分類した。

3. 研究の方法

データ駆動型解析を基盤とした、フラックス法による結晶外形変化の影響因子調査に取り組んだ。低アスペクト比に有効な学習データ収集のため、フラックス法結晶育成を実施するとともに、計算科学を用いて、h-BN とフラックス由来イオン間の吸着エネルギーを求めた。得られた結果を多変量解析することで影響因子候補を作用・非作用に分類した。具体的手法概要を以下に説明する。

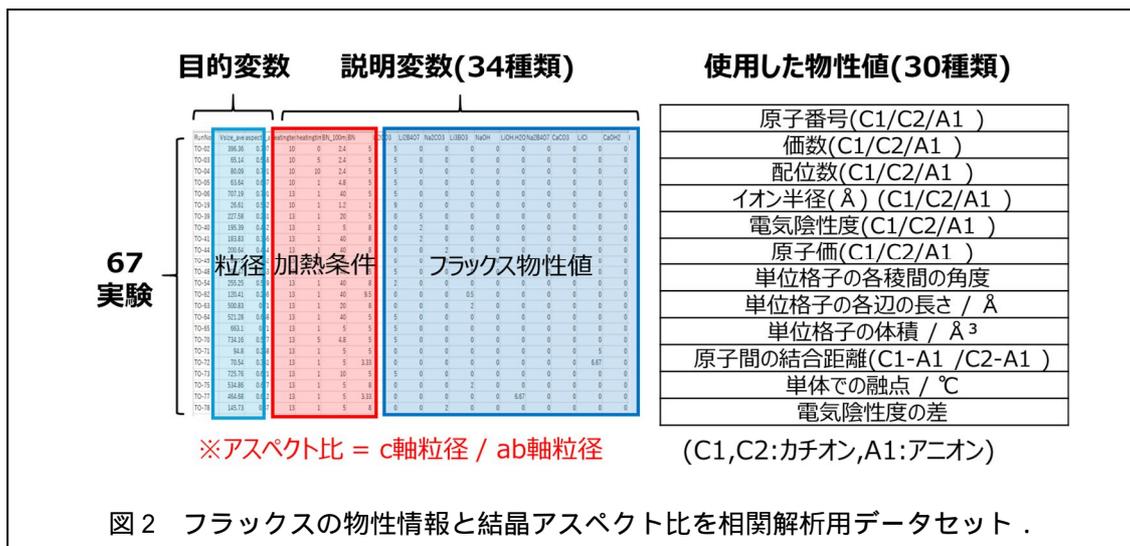
(1)フラックス法結晶成長実験

10種類以上のフラックスを用いてh-BNを結晶育成した。ここでは、フラックスを物性値表現することで、フラックス探索空間を疑似的に外挿探索可能な機械学習アルゴリズムを作成し、用いた。具体的には、加熱条件やフラックス物性値を説明変数、c軸粒径・アスペクト比を目的変数とする80以上の学習データに対してガウス過程回帰(GPR)を使用しモデルを作り、これを逆解析することで実験提案する、データ駆動型実験を実施した。

(2)多変量解析

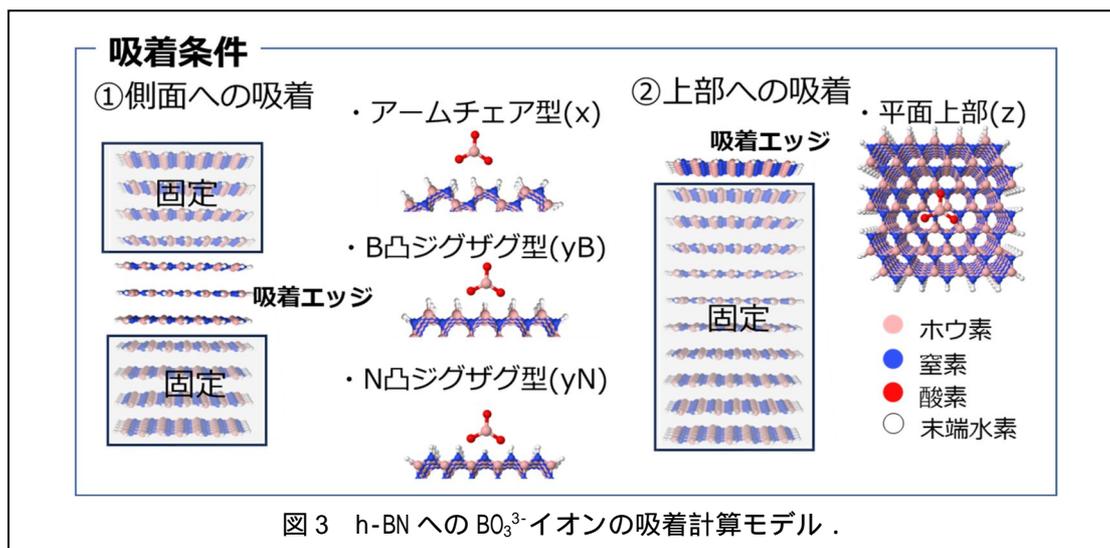
2種類のデータ駆動型解析を実施した。1つ目は、フラックスの物性情報と結晶アスペクト比の相関解析である。ここでは、アスペクト比に作用するフラックス由来の物性値の特定を試みた。

結晶育成実験条件,フラックス物性値を説明変数,h-BN結晶のアスペクト比を目的変数として,実験収集した70程度の学習データを用いて機械学習解析した.図2にデータセット概要を示す.使用した物性値は,フラックス由来のカチオン,アニオンに対する原子番号・価数・配位数・イオン半径など,合計30種類であった.2つ目は,h-BNに対するフラックス由来イオンの吸着エネルギーと結晶アスペクト比の相関解析である.ここでは,アスペクト比に作用する吸着エネルギー由来の特徴量の特定を試みた.結晶育成実験条件,フラックス物性値,吸着エネルギー(後述の通り計算科学により算出)を説明変数,h-BN結晶のアスペクト比を目的変数として,実験収集した70程度の学習データを用いて機械学習解析した.



(3)吸着エネルギー計算

大規模データを使った学習済みの汎用ニューラルネットワークポテンシャルである,プリファードポテンシャル(PFP)を用いて吸着エネルギーを求めた.11層のh-BNクラスターを作り,ab面とc面方向からフラックス由来カチオン・アニオンを吸着させ,その際のエネルギー変化を計算した.h-BNのab面方向には,アームチェア型,B,Nがそれぞれ最表面に露出するB凸ジグザグ型,N凸ジグザグ型の3種類の構造を使った吸着モデルを準備した.フラックス由来イオンの吸着モデル例として,図3に,h-BNの低アスペクト比化に有効な代表的フラックス由来アニオンである BO_3^{3-} との吸着エネルギー計算時のモデルを示す.



4. 研究成果

本研究では,フラックス法におけるh-BNの結晶外形変化に関わる影響因子候補を作用・非作用に分類することを試みた.具体的には,(1)低アスペクト比の結晶育成条件探索,(2)因子候補特定,(3)因子候補の作用・非作用分類に取り組んだ.

(1)低アスペクト比の結晶育成条件探索

データ駆動型実験を実施して,h-BNの低アスペクト比化の条件探索を実施した.機械学習予測からは,低アスペクト比化に有効なフラックスとして炭酸・硝酸塩が提案されたものの,実験結果からは低アスペクト比化する様子は見られなかった.これは,機械学習時のフラックスに関わ

る特徴量や学習データが不足していることで、予測精度が低くなったためと考えられる。

(2) 因子候補特定

データ駆動解析による因子候補提案
 低アスペクト比のフラックス条件探索が難しいと判断して、既存学習データからの因子候補提案を試みた。既存学習データのフラックス種を物性値に分解した上で多変量解析することで、フラックスにおける低アスペクト比の有効因子特定が可能と期待した。ランダムフォレスト回帰モデルを作り、h-BN 結晶 c 軸粒径とアスペクト比の予測実測プロットを描画したところ(図 4)、アスペクト比に対してテストデータに対する決定係数(COD_test)は 0.686 とやや良好な予測精度を示すことがわかった。図 5 に、この際求められる変数重要度を示す。原子間のカチオン アニオン結合距離の重要度が高いことがわかる。カチオン アニオン間の距離は、イオン半径、電気陰性度、アニオン立体障害などと相関する。このうちの前者 2 つの因子は、図 5 から重要度が低いことがわかるため、アニオン立体障害の大きさがアスペクト比とかかわる可能性が考えられた。アニオン立体障害の寄与機構として、h-BN への吸着時の相互作用が考えられる。そこで、低アスペクト比結晶成長の重要因子候補として、吸着エネルギーが有効と判断し、因子候補として提案した。

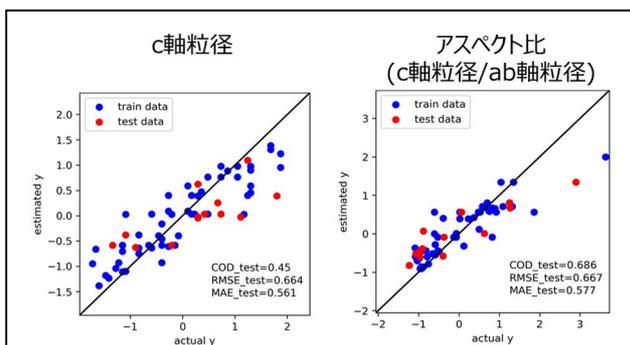


図 4 ランダムフォレスト回帰による h-BN 結晶 c 軸粒径とアスペクト比の予測実測プロット。

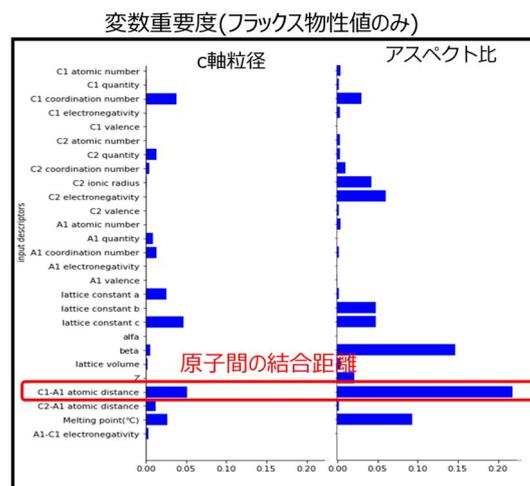


図 5 ランダムフォレスト回帰による h-BN 結晶 c 軸粒径とアスペクト比の変数重要度。

吸着エネルギー計算

既存学習データに含まれるフラックスをカチオン・アニオンに分解した結果、20 種類以上のイオン種がある。これらの h-BN に対する吸着エネルギーを求めた。代表例として、図 6 左図にホウ酸イオン(BO_3^{3-})を h-BN へ吸着させたモデルを示す。ab 面と c 面どちらに吸着させた場合も、ホウ酸イオンの酸素原子が h-BN のホウ素原子と相互作用する様子が見られた。その吸着エネルギーは、ab 面が c 面と比べて 3 倍程度強かった。

同様に、フラックス由来アニオンの h-BN に対する吸着エネルギーの計算結果を図 6 右図にまとめた。z, yB はそれぞれ平面上部(c 面)、ジグザグ型の B との相互作用(ab 面)における吸着エネルギーを意味する(図 3 参照)。いずれの場合も、ab 面方向からの吸着が強いことがわかる。これは、共有結合性の h-BN 二次元層方向の表面自由エネルギーが高く、エネルギー安定化のため ab 面方向の吸着が優位に起きるためと考えられる。このほか、カチオンと比べてアニオンの吸着エネルギーが高い傾向が見られた。よって、アニオンがフラックス反応場での支配的な吸着因

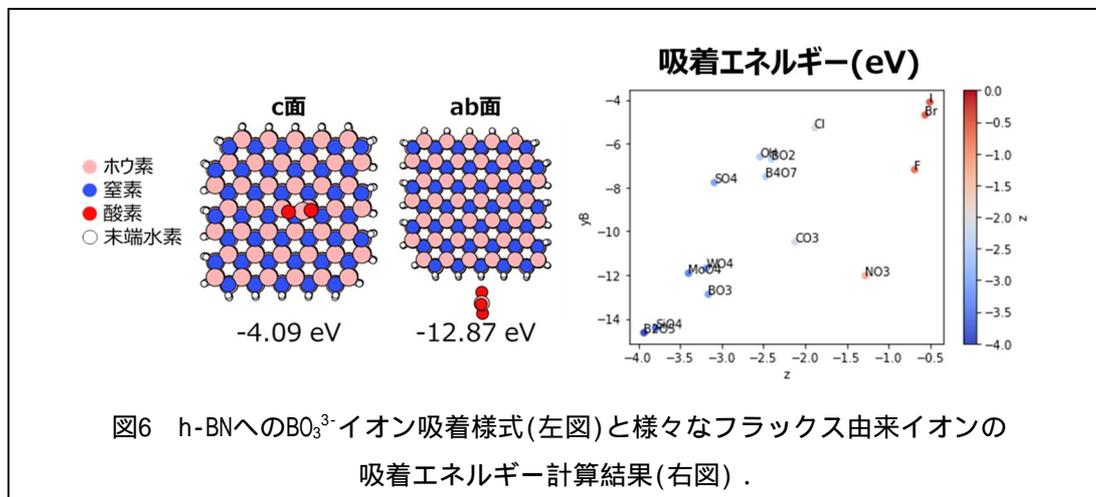


図 6 h-BN への BO_3^{3-} イオン吸着様式(左図)と様々なフラックス由来イオンの吸着エネルギー計算結果(右図)。

子と言える。実際、実験で低アスペクト比化が認められたフラックス由来アニオンで類似したエネルギー異方性が確認できた。

(3) 因子候補の作用・非作用分類

吸着エネルギーを説明変数に追加した際の、結晶アスペクト比に対する多変量回帰分析を実施した。得られた結晶アスペクト比に対する予測実測プロットからは、決定係数が 0.817 の予測精度をもつ回帰モデルを構築できた。この予測精度は吸着エネルギーを用いず回帰分析した結果(図 4, 決定係数は 0.686)と比べて有意に上昇しており、吸着エネルギーが低アスペクト比決定の説明力を持つことが確認できた。

図 7 はランダムフォレスト回帰分析により求められた重要度のうち、吸着エネルギーに関する特徴量を示したものである。青枠で囲むアニオン由来の特徴量のうち、 anion_x/z が比較的大きな重要度を示すことがわかる。この変数は ab, c 軸方向の吸着エネルギーの比を意味する値であり、フラックス由来アニオンの吸着エネルギーの異方性が h-BN 結晶成長に作用する因子であることが特定できた。また、 cation_yN も高い重要度を示し、フラックスカチオンの吸着特性も作用因子であることがわかった。

得られた結果をもとに h-BN の結晶成長におけるフラックスの効果について考察する(図 8)。吸着エネルギーが強い場合、その吸着サイトが安定化するため、結晶成長が抑制されると考えられる。このことから吸着エネルギーの異方性は、みかけの表面自由エネルギーを変化させる外部因子とみなすことができる。h-BN の結晶成長中に、フラックス由来イオンは各方向に競争的に吸着すると考えられる。もし、適度な吸着異方性および吸着エネルギーをもつフラックスイオンが溶媒中に存在すれば、フラックスイオンの h-BN への吸着様式が異方化される。BO₃³⁻ イオンなど低アスペクト比化に寄与したフラックスでは、イオンキャッピングの異方性が起き、 c 軸結晶成長優位となる吸着バランスをとったため、二次元層の成長抑制と、それに伴うアスペクト比変化に繋がったと推察する。なお、計算で求められたホウ酸イオンの h-BN に対する ab 軸方向への吸着優位性は、 ab 軸方向の h-BN 結晶成長が抑制された実験結果とよく一致している。

本研究ではデータ駆動解析により、六方晶酸化ホウ素(h-BN)のフラックス法結晶成長における低アスペクト比化に資する因子の作用・非作用の分類に取り組んだ。この結果、フラックス由来の物性値のうち、原子間のカチオン-アニオン結合距離が作用することがわかった。このほか、h-BN とフラックス由来イオン間の吸着エネルギーの寄与を調べた。計算科学により 20 種類以上のフラックス由来イオンの h-BN に対する吸着エネルギーを求めたうえで、h-BN 結晶成長低アスペクト比化との相関を解析した。この結果、フラックス由来アニオンの吸着方位に依存する吸着エネルギー異方性が、結晶アスペクト比変化に寄与することがわかった。h-BN へのフラックス由来アニオンの寄与は、結晶成長中の h-BN 側面キャッピング効果とそれによる ab 面方向の結晶成長抑制をともなう成長機構として説明可能である。

最後に本研究を総括する。本研究では、フラックス法における h-BN の結晶外形変化に関わる影響因子候補を作用・非作用に分類できたとともに、その成長理解への一定の知見を得ることができた。よって、当初の本研究目的を達成できたと言える。本知見は、h-BN の結晶成長方位の定量的制御に向けた実験指針となる。具体的には、h-BN や他の無機化合物の高温溶液中の結晶外形変化の学理構築の足掛かりにできる。

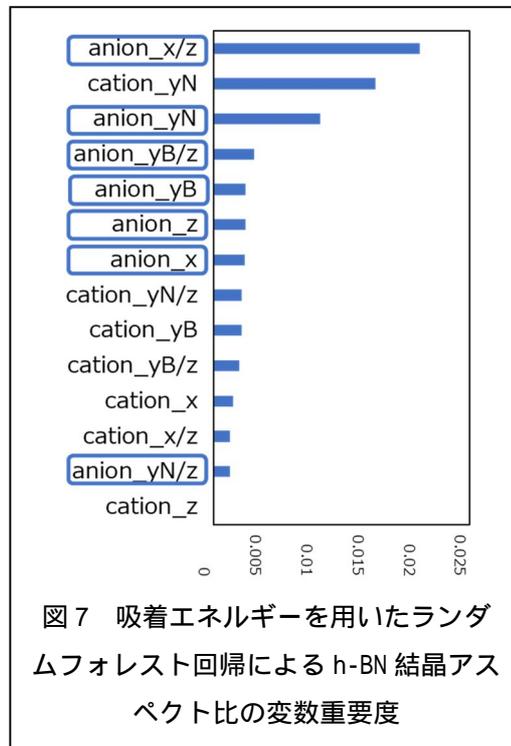


図 7 吸着エネルギーを用いたランダムフォレスト回帰による h-BN 結晶アスペクト比の変数重要度

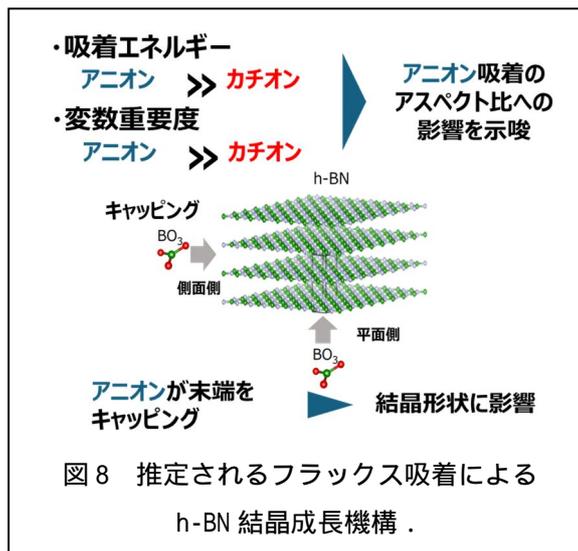


図 8 推定されるフラックス吸着による h-BN 結晶成長機構。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 T. Yamada, H. Kaneko, F. Hayashi, T. Doi, M. Koyama, K. Teshima	4. 巻 23
2. 論文標題 Development of a Flux-Method Process Informatics System and Its Application in Growth Control for Layered Perovskite Ba5Nb4O15 Crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cryst. Growth Des.	6. 最初と最後の頁 8678-8693
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.3c00828	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 T. Yamada, S. Ayuzawa, N. Katsuta, F. Hayashi, M. Koyama, K. Teshima	4. 巻 23
2. 論文標題 Data-Driven Reactivity Predictions between a Solute and Solvent for Inorganic Crystal Growth in Solution	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cryst. Growth Des.	6. 最初と最後の頁 7863-7872
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.3c00659	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山田 哲也・林 文隆・手嶋 勝弥	4. 巻 58
2. 論文標題 結晶自在制御に 向けたフラックス法 プロセス・インフォ マティクスの開拓	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 685-689
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山田 哲也, 手嶋 勝弥	4. 巻 49
2. 論文標題 インフォマティクスを利用したフラックス法研究の新展開	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本結晶成長学会誌	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.19009/jjacg.49-2-03	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山田 哲也,手嶋 勝弥	4. 巻 49
2. 論文標題 インフォマティクスを利用したフラックス法研究の新展開	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本結晶成長学会誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.19009/jjacg.49-2-03	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 獅野和幸, 山田哲也, 新井義之, 手嶋勝弥	4. 巻 16
2. 論文標題 適用的実験計画法を利用した結晶搭載型LiNi0.5Co0.2Mn0.302 電極における 高分離電極構造の探索	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 journal of flux growth	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tetsuya Yamada, Takanori Watanabe, Kazuaki Hatsusaka, Jianjun Yuan, Michihisa Koyama, Katsuya Teshima	4. 巻 24
2. 論文標題 Importance of raw material features for the prediction of flux growth of Al2O3 crystals using machine learning†	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CrystEngComm,	6. 最初と最後の頁 3179-3188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2ce00010e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 塩田哲也, 山田哲也, 林文隆, 手嶋勝弥
2. 発表標題 フラックス育成したBa5Ta4O15結晶の解釈可能なXRD特徴量とその形状の相関理解
3. 学会等名 日本結晶成長学会新技術新材料分科会 第2回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田 哲也、金子 弘昌、林 文隆、古山 通久、手嶋 勝弥
2. 発表標題 フラックス法プロセスインフォマティクスを利用した層状酸化物の低アスペクト比結晶形状制御
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会第36回秋季シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田 哲也, 手嶋勝弥
2. 発表標題 データサイエンスが導くフラックス法結晶成長研究の新機軸
3. 学会等名 (一社)表面技術協会関東支部 第102回若手講演会 in 琉球大学(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塩田 哲也, 山田 哲也, 柳澤 和道, Mongkol Tipplook, 林 文隆, 手嶋 勝弥
2. 発表標題 XRDデータを用いた酸化物結晶の粒度分布と形状のディープラーニング予測
3. 学会等名 日本結晶成長学会第52回結晶成長国内会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長島 睦人, 山田 哲也, 柳澤 和道, Mongkol Tipplook, 林 文隆, 手嶋 勝弥
2. 発表標題 データ駆動を利用した樽型h-BN結晶の新規反応場探索と寄与物性値解明
3. 学会等名 第52回結晶成長国内会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田哲也, 鮎沢俊輔, 宮川博夫, 大石修治, 手嶋勝弥
2. 発表標題 フラックスを反応駆動利用したルビー結晶の低温化育成
3. 学会等名 第17回日本フラックス成長研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuya Yamada, Katsuya Teshima
2. 発表標題 Data-Driven Flux-Method Crystal Growth of Inorganic Materials Using Bayesian Predictive Simulation
3. 学会等名 International conference on crystal growth and epitaxy, iccge20
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuya Yamada, Katsuya Teshima
2. 発表標題 Development of Flux-method Process Informatics to Control Crystal Growth of Layered Perovskite Oxides
3. 学会等名 ICSE2023 International Conference on Surface Engineering (ICSE2023) & Regional INTERFINISH 2023 for 60th Anniversary of Korean Society of Surface Science and Engineering (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田 哲也・勝田 直輝・鮎沢 俊輔・手嶋 勝弥
2. 発表標題 単純酸化物結晶のフラックス法育成における寄与因子の統計解析探索
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長島睦人, 山田哲也, 手嶋勝弥
2. 発表標題 ガウス過程回帰を利用した大型低アスペクト比 h-BN 結晶のフラックス育成および結晶成長因子の解明
3. 学会等名 日本コンピュータ化学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田哲也, 手嶋勝弥
2. 発表標題 フラックス法プロセスインフォマティクスによる異方性酸化物の結晶外形制御効果
3. 学会等名 日本コンピュータ化学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻祐樹, 山田哲也, 柳澤和道, 手嶋勝弥
2. 発表標題 ホウ酸メラミン結晶をテンプレートとした高密度h-BN 結晶構造体のフラックス育成
3. 学会等名 第16回日本フラックス成長研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田哲也, 手嶋勝弥
2. 発表標題 ベイズ予測シミュレーションを用いたデータ駆動フラックス法結晶制御の効果検証
3. 学会等名 第16回日本フラックス成長研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塩田哲也, 山田哲也, 林文隆, 手嶋勝弥
2. 発表標題 フラックス育成したBa5Ta4O15結晶の解釈可能なXRD特徴量とその形状の相関理解
3. 学会等名 新技術新材料分科会 第2回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塩田哲也, 山田哲也, 手嶋勝弥
2. 発表標題 フラックス育成したBa5Ta4O15結晶のXRD特徴量とその形状の相関性可視化
3. 学会等名 CSJ chemistry fest
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田 哲也、手嶋 勝弥
2. 発表標題 六方晶窒化ホウ素のc軸結晶成長制御に向けたデータ駆動方法論の構築
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 哲也、手嶋 勝弥
2. 発表標題 インフォマティクスを利用したフラックス法研究の新展開
3. 学会等名 第50回結晶成長国内会議（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 哲也
2. 発表標題 データ駆動を利用したフラックス法結晶成長研究の新展開
3. 学会等名 令和3年度（2021年度）日本材料科学会若手研究者講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻佑樹, 山田哲也, 柳澤和道, 手嶋勝弥
2. 発表標題 テンプレートを利用したマイクロメートル級・等方性h-BN 結晶のフラックス育成
3. 学会等名 第15 回日本フラックス成長研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田哲也, 手嶋勝弥
2. 発表標題 異方性酸化物の結晶外形制御に向けたベイズ最適化によるフラックス育成予測
3. 学会等名 第15 回日本フラックス成長研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------