

令和 5 年 6 月 17 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05100

研究課題名(和文)窒化物界面の導入によるFe₂VAl系合金のナノ構造創出と熱電応用研究課題名(英文) Nanostructure creation of Fe₂VAl based alloy by introduction of nitride interface for thermoelectric application

研究代表者

渡邊 厚介 (Watanabe, Kosuke)

九州工業大学・環境エネルギー融合研究センター・特任助教

研究者番号：40617007

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：Fe₂V_{1-x}Al_{1+x}の結晶粒近傍に拡散防止層としてAlN界面を導入する方法論を確立した。これはFe₂V_{1-x}Al_{1+x+y}粉末を所定の条件で窒化処理にてAlNとの複合粒子へと変え、これらを焼結することによって得られた。熱伝導率低減のために、焼結前粉末の微粉化をMGやクライオミリングなどを駆使して実施し、3.9 μmまで粉砕可能となった。最終的にFe₂V_{1-x}Al_{1-x+y}焼結体の結晶粒径は1.5 μmまで減少させることに成功し、熱伝導率の30%以上の低減およびAlN相導入による焼結時の粒成長抑制を同時に達成した。上記プロセスにおける組成のズレを制御し、電気的特性の改善が今後の課題となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

延性が高い合金のミクロンオーダーへの粉砕は困難であるが、本研究ではMGやCM、さらには窒化処理などを効果的に組合せ、4 μm以下まで粒径を減少させることができた。また、このような高強度で実用的な材料に関して、ナノ構造化および熱的安定性を同時に達成した例はなく、今後の発展が大いに期待できる。今後は母相組成をチューニングし、実用的な熱電材料として研究開発を進めていく。

研究成果の概要(英文)：We have developed a methodology for incorporating an AlN interface as an anti-diffusion layer near the crystal grains of Fe₂V_{1-x}Al_{1+x}. This involved the transformation of Fe₂V_{1-x}Al_{1+x+y} powder into Fe₂V_{1-x}Al_{1-x}/AlN composite particles through a specified nitriding process, followed by sintering of these particles. In order to enhance the reduction of thermal conductivity, the Fe₂V_{1-x}Al_{1+x+y} powder was subjected to pulverization using MG and cryo-milling techniques, resulting in a particle size reduction to 3.9 μm. Subsequently, successful reduction of grain size to 1.5 μm was achieved in the sintered compact of Fe₂V_{1-x}Al_{1-x+y}. Furthermore, the introduction of the AlN phase enabled a simultaneous reduction of thermal conductivity by more than 30% and suppression of grain growth during sintering. However, it should be noted that future efforts should focus on controlling compositional deviations during the milling and nitriding processes, as well as improving electrical properties.

研究分野：複合材料・界面

キーワード：ナノ構造化 熱伝導率低減 ホイスラー合金 熱電材料 異相界面 窒化物 メカニカルグラインディング クライオミリング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

熱電変換材料は右の式に示すように、無次元性能指数 ZT により評価され、1 以上の ZT 値が実用化の水準とされている。これらのファクターはそれぞれキャリア濃度に依存するため、独立に制御することは困難である。近年、結晶粒微細化やナノサイズの異相界面導入に代表されるバルク体中のナノ構造化はフォノンの平均自由工程を短くすることによりフォノン散乱を増強させることが可能

熱電変換における
無次元性能指数 : ZT

$ZT = \frac{\sigma S^2}{\kappa} T$

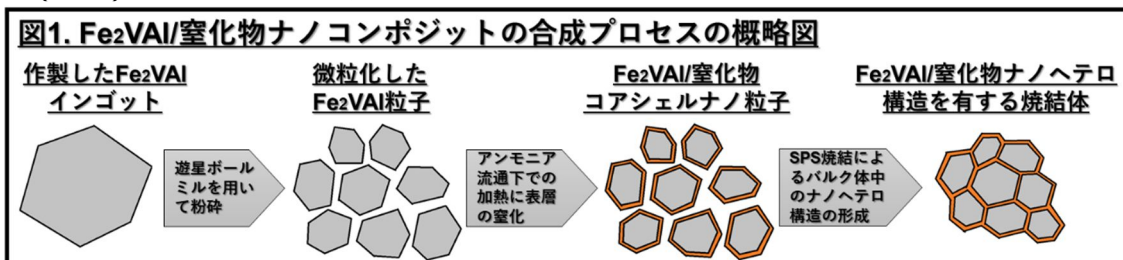
T : 温度
 σ : 導電率
 S : Seebeck係数
 κ : 熱伝導率

で、酸化物やカルコゲナイド化合物、金属間化合物など材料種によらず熱伝導率のみを低減でき、高 ZT 値を得るための主な手法の一つとして知られている(H. Adam *et al.*, *Nano Energy*, **2**, 190(2013).). Na ドープ PbTe 中へ SrTe ナノ粒子を析出させた階層的な組織制御により ZT 値 2 が達成され(K. Biswas *et al.*, *Nature*, **489**, 414(2012).) するなど高 ZT 値の材料は多く開発されているものの、実用化には至っていない。これは重元素や高価な元素を含むこと、機械的強度が低いこと、同一材料種で高性能な p 型と n 型素子の両方を得ることが困難であること、そして熱による原子の相互拡散によってナノ構造が劣化・消失する懸念があることなどが挙げられる。そこで本研究では、熱電変換材料の中でも比較的安価かつ豊富な元素から成り、他材料よりも圧倒的な機械的強度を有するホイスラー型 Fe_2VAl 系合金に注目した。 Fe_2VAl 系合金は 200 ~ 800 K という広範囲での使用が可能で、V と Al の比を変え非化学量論組成にすることにより、Seebeck 係数 S の絶対値 $100 \mu V/K$ 以上を保ちながら p 型(Al リッチ)および n 型(V リッチ)の両特性が比較的容易に得られる(H. Miyazaki *et al.*, *Materials Research Express*, **1**, 015901(2014).). また、高圧ねじり (HPT) 加工により結晶粒径を 100 nm 以下まで低減され、n 型性能で ZT 値 0.3 が得られており(S. Masuda *et al.*, *JAP*, **124**, 035106(2018).). 上記課題を解決できる実用材料として期待されている。しかし、HPT 加工には特殊な装置が必要で大規模生産が困難ある上に、HPT 加工を施した試料は結晶性が低く、結晶性の回復のためには 1000 K 以上でのアニールが必要である。このアニール時に生じる粒成長が熱電性能のさらなる向上を阻害している。上記背景から、現状での実用化は困難と考えられる。そのため、高温でナノ構造を保持できる新たな材料設計が必要である。

微細化した粒子表面近傍に拡散防止膜を導入することによって焼結体中の微細構造を保持し、アニール等の高温熱処理にも耐えうるナノコンポジットが得られる可能性に着目した。結晶粒微細化だけではなく異相界面の導入は特異な熱・電気輸送が生じ、熱電性能を向上させる可能性が提唱されており(D.I. Medlin *et al.*, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, **14**, 226(2009).). ホイスラー合金へ適用すればさらなる性能向上が期待される。研究代表者はこれまで、加熱による原子の拡散防止膜として利用されている導電性窒化物である TiN(S. Kim *et al.*, *J. Electron. Mater.*, **38**, 2668(2009)) を $SrTiO_3$ ナノ粒子上に被覆したコアシェルナノ粒子を合成後に焼結することにより、粒径 50 nm 程度の $SrTiO_3$ ナノ粒子を TiN マトリックス中に分散させた焼結体を得るプロセスを世界で初めて開発し、1273 K-24h での熱耐久試験においても、 $SrTiO_3$ 単相の焼結体と比べて結晶粒が抑制され、30%程度の熱伝導率の低減に成功した(渡邊ら, 日本セラミックス協会第 31 回秋季シンポジウムなど)。一方、 Fe_2VAl 系合金には Fe や V が存在するため、粒子表面近傍のみ窒化することが可能となれば、 Fe_2N や VN は TiN と同様に導電性窒化物(H.O. Pierson, *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides*, Noyes Publications, pp.161-201(2009).) であるため、拡散防止膜として機能する可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では図 1 に示すように、トップダウンとボトムアップのプロセスを組み合わせることによって、 Fe_2VAl 系合金/窒化物ナノコンポジットの合成プロセスを新たに提案する。まずアーク溶解させたインゴットを微粒化し、粒子表面近傍のみを窒化させる。その後、放電プラズマ焼結 (SPS) 法により焼結させ、目的の焼結体を得る。



このコンセプトの可能性を示すため、典型的な組成である Fe_2VAl をアーク溶解により作製し、 $38 \mu m$ 以下に手粉碎した粒子を 623 K-3h にて窒化処理後、SPS を用いて 1373 K-20 min にて焼結した。図 2 左図に示すように、 Fe_2VAl 粒子は焼結体中に分散し、その周辺に窒化物の存在が示唆された。XRD の結果と合わせ、 Fe_2VAl 周辺には Fe-V-N 化合物および AlN がそれぞれ

存在し、これら窒化物が焼結時の Fe_2VAl の粒成長を抑制していることを実証した。さらに、単純な Fe_2VAl 焼結体と比べて熱伝導率は全温度域で低減し、常温では 35%程度低減した。以上より、 Fe_2VAl 粒子の表層部分が窒化することによって、焼結体中の Fe_2VAl 粒子を 1373 K においても粒成長させずに独立に閉じ込めることに成功し、さらなる微粒化により熱伝導率を大幅に低減できる可能性を示した。上記背景から、窒化物界面を導入した Fe_2VAl 系合金ナノコンポジットを合成し、結晶粒微細化および粒成長抑制を同時に生じさせ、熱伝導率の低減を図る新規プロセスを確立することを目的とする。実用的な観点からナノ構造の熱的安定性に着目した研究は少なく、また、拡散防止膜を熱電変換材料に組み込んだ研究もほとんどないため、学術的な独自性ならびに創造性は極めて高いと考えられる。

3. 研究の方法

本研究では、 Fe_2VAl の結晶粒表面近傍に原子の拡散防止膜として窒化物を導入し、加熱による粒成長の抑制と異相界面導入による熱伝導率低減を同時に達成することを目的としている。そこで、次の項目について検討した。

3 - 1. Fe_2VAl における窒化処理温度の探索

Fe_2VAl 系合金に窒化物界面を導入した例はないため、まず目的の組織を得るために窒化処理温度の探索を行った。38 μm 以下に手粉碎した Fe_2VAl の粉末を窒化温度 473~1273K にて窒化処理を施し、X 線回折(XRD)を用いて構造を評価した。

3 - 2. $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ への窒化物界面の導入

$\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ ($x = -0.08, 0.08$)の粉末を窒化処理温度の探索結果から、アンモニアガス流通下 593 K、623 K でそれぞれ窒化処理を施した後、この粉末を放電プラズマ焼結法(SPS 法)にて焼結し、バルク複合焼結体を作製した。結晶構造は XRD、SEM、EPMA を用いて、ゼーベック係数及び電気抵抗率は ZEM-3、熱伝導率はレーザーフラッシュ法を用いて測定した。

3 - 3. $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ の結晶粒微細化検討

38 μm 以下に手粉碎した $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 粉末を使用して遊星ボールミルにてメカニカルグラインディング(MG)を行い、ミリング条件と平均粒径の関係を調べた。次に MG した粉末を窒化処理し、その後 MG し窒化処理をする、という繰り返し操作における結晶粒微細化検討を実施した。一方で、延性を抑制するためにクライオミリング (CM) を取り入れ、結晶粒微細化検討を行った。これらの粉末を焼結し、構造評価および熱電特性評価を行った。また、粉末の粒径は動的光散乱法 (DLS) にて測定した。

4. 研究成果

4 - 1. Fe_2VAl における窒化処理温度の探索

Fe_2VAl 粉末をアンモニアガス流通下、473, 573, 623, 673, 1273 K にて加熱し、窒化処理を行った。表 1 に窒化処理温度により生成した窒化物の種類を示す。573 K 以下では XRD から Fe_2VAl 以外のピークは検出されず、窒化が進行しないことがわかった。一方で、593 K で AlN が生成し、623 K では AlN に加え VN および金属 Fe が、それ以上の温度では金属鉄が窒化され Fe_2N が生成し 1273 K では Fe_2VAl は完全に窒化された。本研究では粒子表面近傍のみが窒化されることが望ましく、623 K 以上高温では粒子内部まで窒化されており、本研究では AlN 相のみが生成した 593 K 付近が窒化処理として最適であると判断した。他方で、これらの結果は各金属 Fe , V , Al が窒化される温度の挙動と異なっており、 Fe_2VAl の窒化される挙動が特異なものであることが新たに確認された。(Fe は 748 K で Fe_2N へ、 V は 875 K で VN へ、 Al は 1473 K で AlN へと変化することが一般的に知られている。)

表 1. Fe_2VAl 粉末を各温度で窒化処理した際に生成した窒化物。

| 窒化処理温度 (K) | 窒化処理時の生成物 |
|------------|--|
| 573 | なし |
| 593 | AlN |
| 623 | AlN , VN , Fe |
| 673~1273 | AlN , VN , Fe_2N ... |

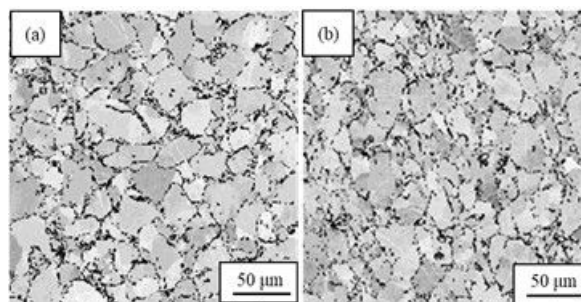


図 2. $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ を 593K で窒化した粉末を用いた焼結体表面の SEM 像(a)x = 0.08. (b)x = -0.08.

4 - 2. $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ への窒化物界面の導入

$\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ ($x = 0.08, -0.08$)の粉末を 593 K にて窒化処理した後 SPS 法にて焼結し、これらの焼結体について構造評価および熱電特性評価を行った。図 2 に各焼結体表面の SEM の反射電子像を示す。x の値に関わらず、母相粒子の界面付近に異相の存在が確認される。それぞれの結晶粒界面近傍の元素分布を確認するため、EPMA にて N , Al , V , Fe の組成マッピング像を取得した。図 3 に $x = 0.08$ の、図 4 に $x = -0.08$ における焼結体の EPMA 組成マッピング像を示す。図 3 および 4 から、 N および Al が母相より多く V および Fe が減少していることから、母相粒

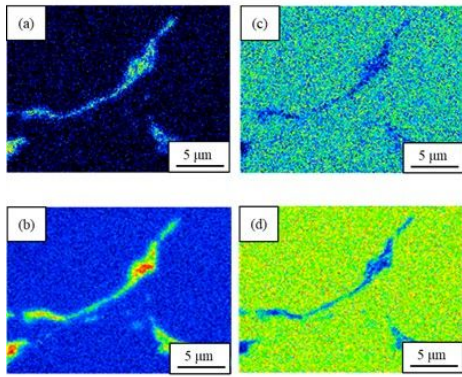


図 3. $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.08}$ を 593K で窒化した粉末を用いた焼結体の EPMA マッピング像(a)N, (b)Al, (c)V, (d)Fe.

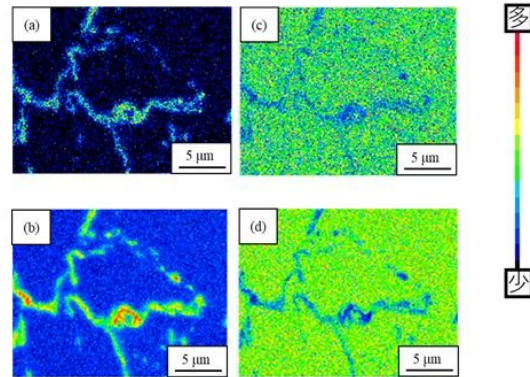


図 4. $\text{Fe}_2\text{V}_{1.08}\text{Al}_{0.92}$ を 593K で窒化した粉末を用いた焼結体の EPMA マッピング像(a)N, (b)Al, (c)V, (d)Fe.

子界面近傍に析出した異相界面は AlN であることが示唆され、図 2 の結果と合わせ、この焼結体は $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ と AlN との複合材料であることが確認された。一方で、300 K におけるゼーベック係数は 5 分の 1 に減少、電気抵抗率は 5 倍へ上昇したため、 AlN が析出した分、母相粒子の Al 組成が大きくなりすぎたと考えられた。そこで、上記焼結体における母相粒子の組成を定量評価したところ、 $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ と比べて Al のみが 12%程度減少していることが確認された。そこで、原料秤量時に Al を 12%多く秤量し $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1.12+x}$ となるようにアーク溶解させ、同様のプロセスで複合材料を作製したところ、母相粒子の組成は $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ とほぼ同等の組成になることがわかった。窒化処理により低下した電気的特性も従来の $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ にまで回復し、本項目にて、焼結温度 1373 K でも原子の拡散が抑制できる複合材料のプロセスが確立できたと見える。さらに、これら複合材料の熱伝導率は単純な $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1+x}$ と比較して 5%程度低減しており、母相粒子の微細化によりさらなる熱伝導率の低減が期待される。

4 - 3 . $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1.12+x}$ の結晶粒微細化検討 MG 条件検討および窒化処理との組合せ

38 μm 以下に手粉碎した $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 粉末をクロム鋼の容器とボールを用い、MG を行った。MG 条件はミリング時間 = 1, 3, 10 h、ボール径 = 1, 3, 5 mm、公転速度 280 rpm とし、試料粉末とエタノールを加えて湿式 MG を行った。図 5 左に MG の条件に対する $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 粉末の平均粒径を示す。ボール径の違いで粉砕能力は大きく変わらなかったが、ミリング時間 1h で手粉碎と比べて 3 分の 1 に、3h でさらに粉砕された。一方で 10h ではほとんど粒径の変化がなく、図 5 右の 10h における粒子の SEM 像から、粒子が平たくなっており延性の影響で粉砕能力の限界を示した。以上より、ボール径 1 mm、ミリング時間 3h を現状最も微細化できる MG 条件とした。

次に、さらなる微粉化を達成するために、 $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ が持つ延性の影響を低減させる方法として、一度窒化処理し AlN を析出させさらに MG をする、という操作を 3 回繰り返した。得られた粉末の粒度分布を図 6 に示す。手粉碎と比べるとどの MG 条件でも粉砕されていることが確認できる。また、窒化処理を施さずに MG のみを繰り返すと、平均粒径が 6.5 μm 程度で粉砕限界を示した。他方で、MG に窒化処理を加えて MG を施すと、3 回目で 3.9 μm にまで平均粒径の低減に成功した。そのため、これらの微粉末を用いた焼結体は微細であることが期待される。これらを用いた焼結体の SEM 像を図 7 に示す。窒化処理を施した図 7(b)および(c)では窒化処理をしない試料と比べて超微細構造を有していることがわかる。これらの試料の熱伝導率は (a)19.4 (b)12.3, (c)10.3 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ と微細化に応じて低

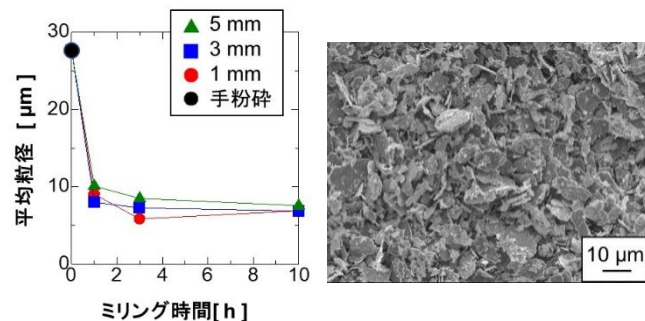


図 5. (左)MG 条件に対する $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 粉末の平均粒径, (右) ボール径 1 mm、ミリング時間 10h にて粉砕した $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 粉末の SEM 像.

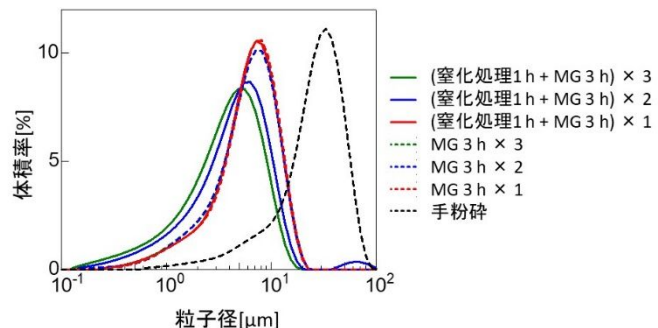


図 6. MG と窒化処理を組み合わせで微粉化した $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 粉末の粒度分布.

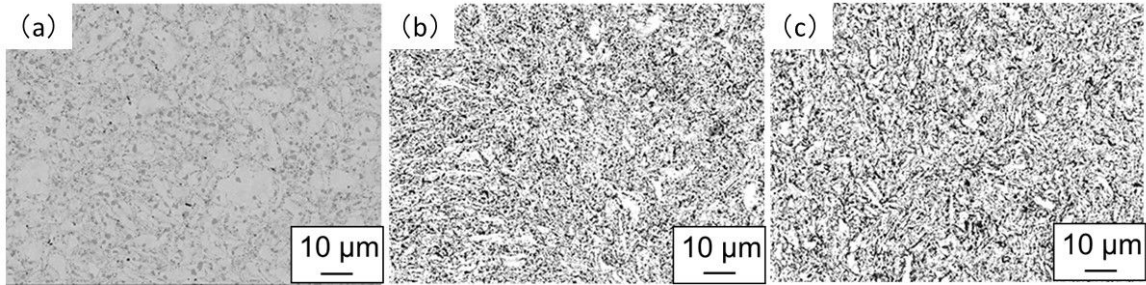


図 7. $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ に(a)MG3h×3, (b)(MG3h + 窒化処理 1h)×3, (c) (MG3h + 窒化処理 1h)×3 の後に窒化処理を施した粉末を用いた焼結体表面の SEM 像.

減しており、加えて AlN が $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 周辺に存在することによって 1373 K での焼結時に粒成長を抑制できていることが確認された。

4 - 4 . $\text{Fe}_2\text{V}_{1-x}\text{Al}_{1.12+x}$ の結晶粒微細化検討 クライオミリング (CM) の導入

CM は液体窒素を用いて極低温での MG を行う手法であり、4 - 3 のように複雑なプロセスを経ずに延性を低減させながら粉碎できる可能性に着目した。一度 $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 粉末を MG し

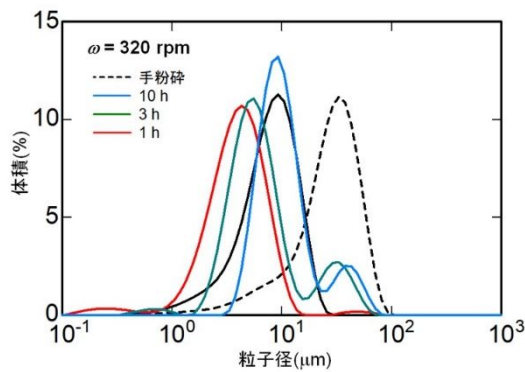


図 8. $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 粉末の CM 条件と粒度分布.

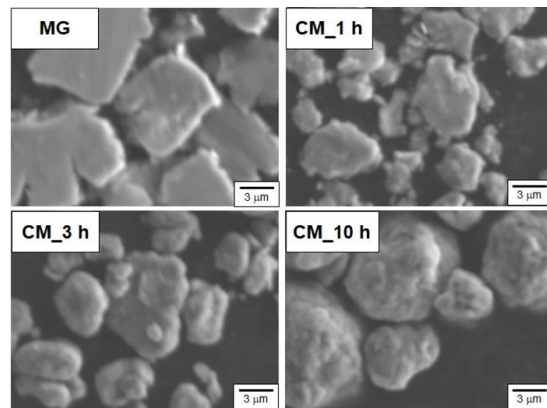


図 9. CM 前後の $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 粉末の SEM 像.

た後、この粉末を CM にて 320 rpm、ボール径 1 mm、1 ~ 10 h で粉碎条件を検討した。図 8 に $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 粉末の粒度分布を示す。CM1h で 3.9 μm まで粉碎された後、CM 時間の増大に伴い粒径も増大した。これは粉碎された粒子が凝集成長したことを示している。そのため、CM は短時間の 1 h が適した条件であると言え、MG のみと比べると 2 分の 1 まで粉碎効果は増大した。さらに、MG のみと比べると、CM 後の粒子の形状は等方的であり、延性を抑制しながら粉碎することが可能となった。

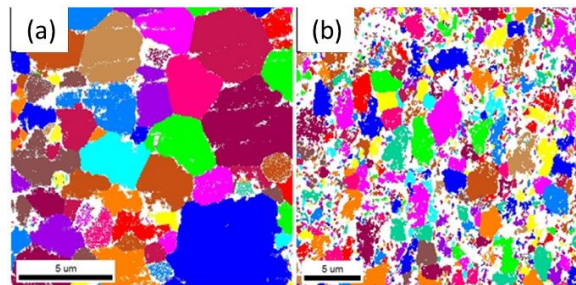


図 10. $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 焼結体 SEM-EBSD 像 (a)CM のみ, (b)CM + 窒化処理.

上記 CM 後の粉末を窒化処理した後、焼結体を得た。窒化処理をせずに焼結した焼結体との結晶粒サイズの比較をすると、図 10 に示した SEM-EBSD 像から、窒化処理していない(a)では平均の結晶粒サイズが 3.0 μm 、(b)では 1.5 μm と、図 2 に示す手粉碎試料の焼結体と比較すると結晶粒サイズは 10 分の 1 に低減させることに成功した。これら焼結体と 4 - 2 で作製した焼結体の熱伝導率の温度依存性を図 11 に示す。CM にて熱伝導率は低減し、窒化処理ではさらに低減した。特に 300 K では約 50%の低減がみられ、AlN 界面によるフォノン散乱の増強によるものと示唆された。他方で、電気的特性は大きく低下した。

以上より、AlN が原子の拡散防止層として機能していることが確認され、熱伝導率は 30%以上の低減に成功した。目的に対して、粒成長の抑制と異相界面導入による熱伝導率の低減の同時達成は満たした。一方で、微細化した焼結体の電気的特性の低下は粉碎および窒化処理過程における組成のズレを意味しており、これらの制御が今後の課題となる。

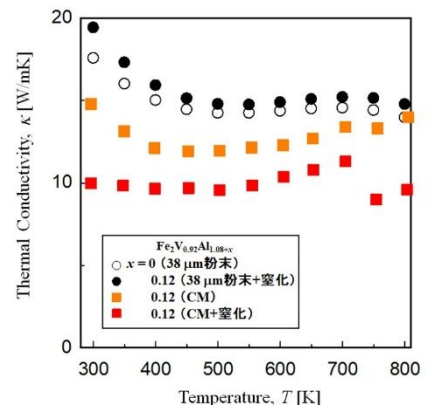


図 11. 各 $\text{Fe}_2\text{V}_{0.92}\text{Al}_{1.20}$ 焼結体の熱伝導率の温度依存性.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 Shota. Hayakawa, Toshiharu Chono, Kosuke Watanabe, Shoya Kawano, Kazuma Nakamura, Koji Miyazaki | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Ab initio calculation for electronic structure and optical property of tungsten carbide in a TiCN-based cermet for solar thermal applications | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 9407 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-36337-4. | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 該当する |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 2.Hidetoshi Miyazaki, Tomoyuki Tamura, Masashi Mikami, Kosuke Watanabe, Naoki Ide, Osman Murat Ozkendir, Yoichi Nishino | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Machine learning based prediction of lattice thermal conductivity for half-Heusler compounds using atomic information | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 13410 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-76554-9 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 該当する |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Hidetoshi Miyazaki, Osman Murat Ozkendir, Selen Gunaydin, Kosuke Watanabe, Kazuo Soda, Yoichi Nishino | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Probing Local Distortion around Structural Defects in half-Heusler thermoelectric NiZrSn Alloy | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 19820 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-76554-9 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kosuke Watanabe |
| 2. 発表標題 Microstructure Control of Thermoelectric Composites by Nitriding Process |
| 3. 学会等名 JSPS研究拠点形成事業国内ワークショップ |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 宮崎秀俊, 関田好希, 渡邊厚介, 桜庭裕弥, 西野洋一 |
| 2. 発表標題 ホイスラー型 $\text{Co}_2\text{MnSi}_{1-x}\text{Al}_x$ 化合物の電子構造と相安定性に関する研究 |
| 3. 学会等名 第19回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 長野利春, 早川翔大, 三浦飛鳥, 渡邊厚介, 矢吹智英, 河野翔也, 中村和磨, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 第一原理計算を用いたTiCN系化合物の波長選択的ふく射特性の予測 |
| 3. 学会等名 日本伝熱学会第59回日本伝熱シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Toshiharu Chono, Syota Hayakawa, Asuka Miura, Kosuke Watanabe, Tomohide Yabuki, Shoya Kawano, Kazuma Nakamura, Koji Miyazaki |
| 2. 発表標題 Prediction on thermal radiative properties of TiC/TiN superlattices using first-principles calculation |
| 3. 学会等名 The 13th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masaya Fujimura, Asuka Miura, Daiki Masumoto, Ren Umeno, Shrikant Saini, Kosuke Watanabe, Tomohide Yabuki, Koji Miyazaki |
| 2. 発表標題 Development of steady-state measurement process with high precision of thermal conductivity of metal wires by using self-Joule heating method |
| 3. 学会等名 International Conference on Organic and Hybrid Thermoelectrics(ICOT2022) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 長野利春, 早川翔大, 三浦飛鳥, 渡邊厚介, 矢吹智英, 河野翔也, 中村和磨, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 第一原理計算を用いたTiC/TiN超格子の光学特性計算 |
| 3. 学会等名 熱工学コンファレンス2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 早川翔大, 長野利春, 三浦飛鳥, 渡邊厚介, 矢吹智英, 中村和磨, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 廃棄物サーメットの太陽光吸収特性 |
| 3. 学会等名 熱工学コンファレンス2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 長野利春, 早川翔大, 三浦飛鳥, 渡邊厚介, 矢吹智英, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 冷感マスクの赤外域放射特性 |
| 3. 学会等名 第42回日本熱物性シンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 早川翔大, 長野利春, 河野翔也, 中村和磨, 三浦飛鳥, 渡邊厚介, 矢吹智英, 宮崎康次 |
| 2. 発表標題 炭窒化チタンサーメット膜の吸収スペクトル測定と特性予測 |
| 3. 学会等名 熱工学コンファレンス2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shota HAYAKAWA, Toshiharu CHONO, Shoya KAWANO, Kazuma NAKAMURA, Asuka MIURA, Kosuke WATANABE, Tomohide YABUKI, Koji MIYAZAKI |
| 2. 発表標題 Absorptance of Ti(C,N) cermet: Experiment and calculation |
| 3. 学会等名 2nd Asian Conference on Thermal Sciences (ACTS) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松本 稜己, Saini Shrikant, 矢吹 智英, 三浦 飛鳥, 渡邊 厚介, 宮崎 康次 |
| 2. 発表標題 ドーピングによるハライドペロブスカイトのゼーベック係数の向上 |
| 3. 学会等名 第18回日本熱電学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 宮崎 秀俊, 田村 友幸, 三上 祐史, 渡邊 厚介, 井手 直樹, Osman Murat Ozkendir, 西野 洋一 |
| 2. 発表標題 機械学習によるハーフホイスラー化合物の熱伝導率予測 |
| 3. 学会等名 第18回日本熱電学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 宮崎 秀俊, Osman Murat Ozkendir, Selen Gunaydin, 渡邊 厚介, 曾田 一雄, 西野 洋一 |
| 2. 発表標題 X線吸収微細構造法によるハーフホイスラー型NiZrSn熱電変換材料の局所構造評価 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2021年(第168回)春季講演大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 加藤 直人、渡邊 厚介、宮崎 秀俊、井手 直樹、玉岡 悟司、西野 洋一 |
| 2. 発表標題 Fe ₂ VAl系熱電材料への窒化物界面導入プロセス条件の探索 |
| 3. 学会等名 第17回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2020) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 渡邊 厚介、加藤 直人、宮崎 秀俊、井手 直樹、玉岡 悟司、西野 洋一 |
| 2. 発表標題 窒化処理したFe ₂ VAl系合金の熱電特性と微細構造 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2020年 (第167回) 秋季講演大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

| | | |
|--------------------------------|----------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 熱電窒化物およびその製造方法 | 発明者 渡邊厚介、村田龍生、三浦飛鳥、宮崎康次 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-24748 | 出願年 2023年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

| |
|---|
| 九州大学 研究者情報 https://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K005629/index.html |
|---|

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 |
|-------|-----------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 西野 洋一 (Nishino Yoichi) | | |
| 研究協力者 | 宮崎 秀俊 (Miyazaki Hidetoshi) | | |
| 研究協力者 | 宮崎 康次 (Miyazaki Koji) | | |
| 研究協力者 | 三浦 飛鳥 (Miura Asuka) | | |
| 研究協力者 | 中村 和磨 (Kazuma Nakamura) | | |
| 研究協力者 | 井手 直樹 (Ide Naoki) | | |

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 |
|---------|---------|
| | |