

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 1 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009 年度 ～ 2011 年度

課題番号：21360136

研究課題名（和文）

産業廃棄物シリコンを用いた環境半導体材料マグネシウムシリサイド排熱発電素子の開発

研究課題名（英文）

Direct thermal-to-electric energy conversion material of environmentally-benign Mg₂Si synthesized using wasted Si sludge

研究代表者

飯田 努（東京理科大学基礎工学部・准教授）

研究者番号：20297625

研究成果の概要（和文）：

排熱を実用温度域(300～600℃)で直接電気エネルギーに変換し排熱再資源化を実現する「環境低負荷型熱電変換素子モジュールの実用化を目指し、高変換効率(～10%以上)が期待される熱電変換材料マグネシウム・シリサイド(Mg₂Si：シリサイド環境半導体)を高品質・省プロセスにより合成する手法を開発した。また、廃棄物シリコン原材料を Mg₂Si の原料として用いるための純化プロセスを開発した。

研究成果の概要（英文）：

Thermoelectric power generation is expected to be one of the effective technologies that will help reduce global warming by directly converting energy from waste heat or solar heat to electricity. Magnesium-Silicide (Mg₂Si) has the potential to be an effective thermoelectric material with operating temperatures ranging from 500 K to 900 K. Here we have tried to introduce reusing of industrial waste of Si sludge as a source material for Mg₂Si, because the current product inversion rate of Si for semiconductor LSI devices remains at 25 to 30 %, while most of the remainder is disposed of as a waste; this is mainly discharged as sludge from grinding and polishing processes.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
21 年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
22 年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
23 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 / 電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：熱電変換、半導体、環境半導体、マグネシウムシリサイド、放電プラズマ焼結

1. 研究開始当初の背景

我が国の一次エネルギー源に占める化石燃料(石油・石炭・天然ガス)比率は 82%(2006 年エネルギー白書)にのぼり、温室効果を加速させる化石燃料に強く依存したエネルギーシステムとなっている。一方で、化石燃料源からのエネルギーはその~70%以上が最終的に排熱として捨てられている。

排熱を利用付加価値の高い電気エネルギーに変換し利用することは排熱再資源化を現実のものとする上で最重要条件であり、化石燃料源からのエネルギー利用効率の劇的向上による温室効果ガス削減が強く望まれる。

2. 研究の目的

本研究では、以下に示す具体的な目標を設定し、早期に n 形 Mg_2Si ユニレグ構造排熱発電モジュールの試作を目指す。

- (1). 量産可能な材料合成手法により作製された n 形 Mg_2Si の応用物性・工業用原料製造プロセスを開発
- (2). 産業廃棄物シリコン(Si)原料を 100%使用した n 形 Mg_2Si について、新製法を導入し、材料レベルで変換効率 10%超を実現
- (3). n 形性能向上に不可欠な不純物元素に関しドーピングの基礎データを蓄積
- (4). n 形・p 形ペア構造 Mg_2Si もしくは n 形 Mg_2Si の単独利用排熱発電モジュールの試作と高温炉でのフィールドテストを実施

3. 研究の方法

n形(Al, Sb, Bi)- Mg_2Si の量産向け合成法および廃棄物原料導入に関する研究開発

- (1). 新製法低コスト合成プロセス開発
- (2). 多結晶原料の大量合成条件の探索と製造
- (3). 低コストプロセスによる電気伝導制御

Mg_2Si の合成に関する研究開発

- (1). 低コスト合成プロセス開発《Si原料》
- (2). 多結晶原料の大量合成条件の探索と製造
- (3). 低コストプロセス電気伝導制御

n形- Mg_2Si の単独利用排熱発電モジュール化への個別性能向上に関する研究開発

- (1). n形 Mg_2Si 試料素子の実熱起電力向上、および Mg_2Si -金属電極間の電気抵抗低減技術の確立
- (2). p形 Mg_2Si 試料素子の実熱起電力向上

n形- Mg_2Si の単独利用排熱発電モジュール試作

- (1). n形- Mg_2Si の単独利用による新構造(ユニレグ型)排熱発電モジュールの製作

4. 研究成果

(1). 高品質・高耐久 Mg_2Si 原料

これまでの取組により、 Mg_2Si 素材の基礎的な部分に関する知見、ハンドリングが実験室レベルから少量生産レベルに至るまでではほぼ確立され、発電デバイス構成構築への基礎知見が得られた。 Mg_2Si 系は $Mg_2Si_{1-x}Ge_x$ と $Mg_2Si_{1-x}Sn_x$

を含め 1960 年代より排熱発電温度領域 500~800 K の熱電変換材料として認知されてきた材料系である。¹⁻¹²⁾ 現在までに報告されている実質的な Mg_2Si の性能指数 ZT は、900 K 付近で ZT~1 程度の値であるが、軽元素から構成される Mg_2Si は、重量性能比で比較すると他材料を凌駕する熱電変換性能を有することが本研究成果で明らかとなった。

(2). 焼結による電極一体型ペレット作製

溶融合成された Mg_2Si 原料を 75 μm 以下に粉碎し、焼結用治具のグラファイト製ダイとパンチに装填する。この際に、 Mg_2Si の原料の上下部分に電極材料である Ni パウダー(~3 μm 粒径)を配置して、 Mg_2Si の焼結時に同時焼結で Ni 電極を Mg_2Si マトリックスに焼結・接着作製している。Ni は Mg_2Si に対して、実際のプロセス温度である 1100~1200 K の焼結プロセスにおいて顕著な拡散を呈さず、Ni/ Mg_2Si 界面は焼結後も極めて良好である。

Mg_2Si 開発においては、放電プラズマ焼結プロセスの各種焼結パラメータ制御が Mg_2Si の熱電特性の向上に不可欠であることが本研究で明らかとなり、 Mg_2Si の放電プラズマ焼結法においては同活性化プロセスによる熱電特性の向上、電極一体焼結、難焼結性 Sb ドープ Mg_2Si 焼結においてその効果が顕著に確認されている。また、 Mg_2Si のナノ粉末材を焼結する際にも有効であることが示唆された。

(3). スケーラビリティ

Mg_2Si の焼結試料作製について熱電性能を担保した大口径焼結ペレットの作製は難しいとされていた。通常のポットプレス法では、大口径(~60 mm ϕ) ペレット試料の作製が行われてきたがプロセス温度・時間、雰囲気の関係で Mg_2Si マトリックスの酸化劣化顕著となり、現状では良好な熱電性能を得ることが難しい。

現在までに知られていることとして、 Mg_2Si は原料品質と添加不純物種・添加濃度に依存した焼結性の良否がある。大口径試料作製のためにバインダーとして Ni 等を使用して PAS 焼結した Sb 添加 Mg_2Si ペレットの写真を図 1 に示す。Sb 添加 Mg_2Si は焼結性が悪く、従来は~15 mm ϕ 程度の大きさで容易にクラックが入り再現良く良質のペレットを作製することができなかったが、バインダーの使用により 40 mm ϕ の大きさまで再現良く作製できることが可能となった。

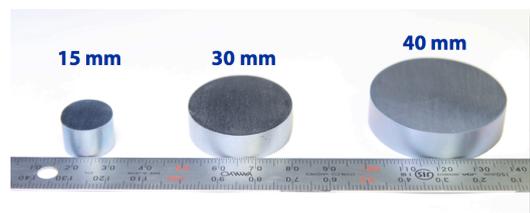


図 1

5 wt% バインダーを添加した試料では 873 K で $ZT=0.97$ が得られている。また、7 wt% 試料では同じく $ZT=0.95$ を示している。(図 2) 最適なバインダー添加量においては、量産を指向した大口径焼結が可能になり、また、実用上十分な発電に向けた熱電特性の改善にも大きな寄与があることが明らかになった。

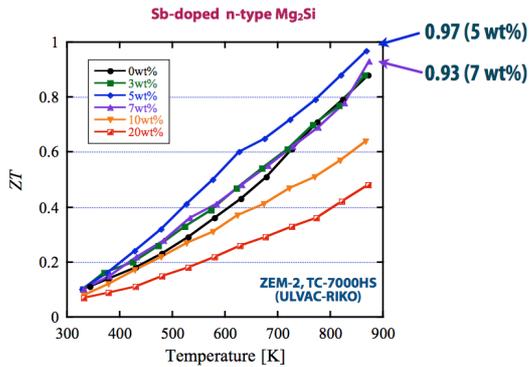


図 2

(4). 大口径 Sb 添加 n 形 Mg_2Si 素子の熱電特性と実用デバイス構造

図 3 に $3 \times 3 \times 7.5 \text{ mm}^3$ の発電チップの低温部 373 K、高温部 473~873 K におけるパワーカーブを示す。得られた最大出力は、 $\Delta T=500 \text{ K}$ で 172.8 mW であった。

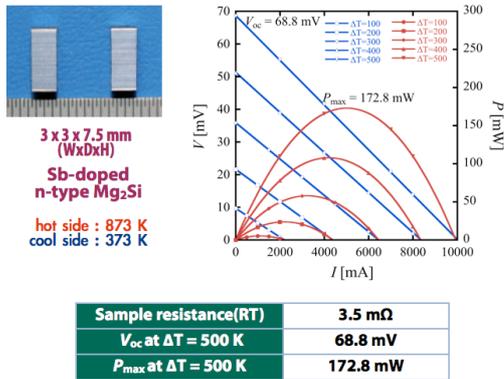


図 3

Mg_2Si は、アンドープ状態で n 形の電気伝導を示し、p 形を想定使用温度領域 500~900 K において安定的に得ることは難しいことが知られている。図 3 に示した発電チップを用いて作製した新構造ユニレグ形発電ユニットを図 4 に示す。シリサイドを含めた次世代環境低負荷系の素材においては n 形もしくは p 形のどちらかの発電特性が優れているケースが多い事も鑑みて、n 形のみから構成されるユニレグ構造モジュール

による発電モジュールを提案・作製した。

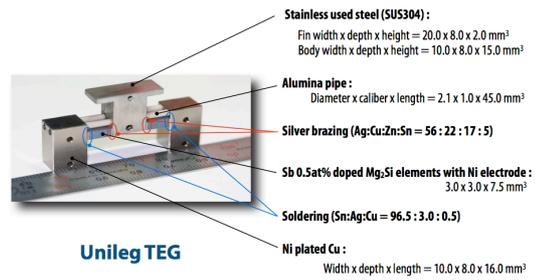


図 4

以下、本研究期間、各年度に得られた具体的な成果をまとめる。

H21 年度成果

n 形 Mg_2Si の量産向け合成法および廃棄物原料導入に関する研究開発

(1). 新製法低コスト合成プロセス開発

[成果]: 産業廃棄物リユース Si の純化、金属グレード Si (3-4N) およびケミカルグレード Si (2N) を使用して、排熱発電を実現可能な熱電変換特性を有する n 形 Mg_2Si 製造法をほぼ確立した。

(2). 多結晶原料の大量合成条件の探索と製造

[成果]: Mg_2Si 原料を多数合成する新規の溶融合成技術を共同研究先の会社と開発した。

(3). 低コストプロセスによる高耐久な不純物による電気伝導制御

[成果]: ① n 形 Mg_2Si 多結晶原料合成時に均質に不純物を分布させるプロセス技術を開発した。② 放電プラズマ焼結合成プロセスと不純物導入プロセスの整合性確保を行い、動作時を想定する温度での耐久試験で素子劣化を低減させる不純物を探索できた。

H22 年度成果

発電性能および高温耐久性を向上させる不純物元素の特性に関する研究開発

(1). 従来用いられてきた Al, Bi, Sb 以外の新規不純物元素の添加および放電焼結プロセス開発

[成果]: n 形 Mg_2Si に関して、新規不純物元素 5 種を合成時に導入し、15mm 径の焼結ペレットを再現よく製造する方法を確立した。このうち、2 種が発電性能の向上を示し、1 種は高温での酸化劣化を抑制する効果があることを見いだした。

(2). 発電モジュールを作製する際に必要な Mg_2Si への金属電極を接合する技術の開発

[成果]: 放電焼結法および Ni 無電解めっき法によるオーミック金属電極の作製法を確立した。放電焼結法では Ni 電極に加え、Ni より接触抵抗を低減できる新規金属電極材料を複数見いだした。

(3). 放電焼結法による大口径ペレット作製に関する開発

[成果]: Mg_2Si は大口径 (~50mm 径) の焼結ペレットを作製する際には、試料のひび割れ

や電極剥離等の問題が生じていたが、新焼結プロセスおよび原料調製により 30~50mm 径のペレット作製が可能となった。

H23 年度成果

発電性能および高温耐久性を向上させる不純物元素の特性に関する研究開発

(1). 従来用いられてきた Al, Bi, Sb 以外の新規不純物元素の添加および放電焼結プロセス開発

[成果]: n 形 Mg_2Si に対する新たな不純物元素として、Co, Sm, Ta, Zn を見いだした。Ta は電気伝導率の向上によりパワーファクターが向上した。Co, Sm, Zn は熱伝導率の低下に寄与のあることが知られた。特に Zn は高性能不純物 Sb に匹敵する性能を示すことが明らかとなった。

(2). 発電モジュールを作製する際に必要な Mg_2Si への金属電極を接合する技術の開発

[成果]: 放電焼結法による Mg_2Si 焼結時の同時オーミック金属電極作製法により、従来の Ni より接触抵抗を低減できる $CoSi_2$, $CrSi_2$ の新金属電極材料に関して Ni バインダー添加により、 Mg_2Si -電極間の接触抵抗を大幅に低減できることが知られた。また、Sb 添加の Mg_2Si では、Al 添加 Mg_2Si に比べて Mg_2Si -電極間接触抵抗の低抵抗化と高温耐久性の両面で優れることが明らかとなった。

(3). 放電焼結法による大口径ペレット作製に関する開発

[成果]: 昨年度までに実現した Mg_2Si の大口径 (~50mm 径) 焼結ペレット作製では、再現性に問題があったが、本年度、メタルバインダーを開発することで 30~50mm 径ペレットの再現良く作製できるようになった。さらに、メタルバインダーの添加で、発電特性を向上させることに成功し大口径試料で ZT 値 ~1 を実現した。

今後、最終的な目標である「自動車向けシステム実装」を目指す。具体的な次の研究内容は以下に示す 4 項目から成る。

(1). 新モジュール構造(ユニレグ型)の低熱損失化、高耐久化、高強度構造化

(2). 熱源の熱変動を緩和するバッファリング熱結合機構の開発

(3). 発電モジュール及び発電デバイスからの電力取出し新機構の開発

(4). Mg_2Si ナノ原料開発による高性能化

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 13 件)

1. Y. Hayatsu, T. Iida, T. Sakamoto, S. Kurosaki, K. Nishio, Y. Kogo, and Y. Takanashi, Fabrication of Large Sintered Pellets of Sb-doped N-type Mg_2Si Using a Plasma Activated Sintering Method, *Journal of Solid State Chemistry* --, ***-*** (2012). In-press.
2. T. Sakamoto, T. Iida, Y. Taguchi, S. Kurosaki, Y. Hayatsu, K. Nishio, Y. Kogo, and Y. Takanashi, Examination of a

thermally viable structure for an unconventional uni-leg Mg_2Si thermoelectric power generator, *Journal of Electronic Materials* --, ***-*** (2012). In-press (On-line version available). [DOI: 10.1007/s11664-012-1974-0]

3. T. Sakamoto, T. Iida, Y. Honda, M. Tada, T. Sekiguchi, K. Nishio, Y. Kogo, and Y. Takanashi, The use of transition metal silicides to reduce the contact resistance between the electrode and sintered n-type Mg_2Si , *Journal of Electronic Materials* --, ***-*** (2012). In-press (On-line version available). [DOI: 10.1007/s11664-012-2073-y]
4. T. Nemoto, T. Iida, J. Sato, T. Sakamoto, T. Nakajima and Y. Takanashi, Power generation characteristics of Mg_2Si uni-leg thermoelectric generator, *Journal of Electronic Materials* --, ***-*** (2012). In-press (On-line version available). [DOI: 10.1007/s11664-012-1963-3]
5. K. Mizuno, K. Sawada, T. Nemoto, T. Iida, Development of a Thermal Buffering Device to Cope with Temperature Fluctuations for a Thermoelectric Power Generator, *Journal of Electronic Materials* --, ***-*** (2012). In-press (On-line version available). [DOI: 10.1007/s11664-012-1911-2]
6. T. Sakamoto, T. Iida, N. Fukushima, Y. Honda, M. Tada, Y. Taguchi, Y. Mito, H. Taguchi, and Y. Takanashi, Thermoelectric properties and power generation characteristics of sintered undoped n-type Mg_2Si , *Thin Solid Films* **519**, 8528-8531 (2011). [DOI:10.1016/j.tsf.2011.05.031]
7. T. Sakamoto, T. Iida, S. Kurosaki, K. Yano, H. Taguchi, K. Nishio, and Y. Takanashi, Thermoelectric behavior of Sb- and Al-doped n-type Mg_2Si devices under large temperature differences, *Journal of Electronic Materials* **40**, 629-634 (2011). [DOI:10.1007/s11664-010-1489-5]
8. T. Sakamoto, T. Iida, J. Sato, A. Matsumoto, Y. Honda, T. Nemoto, J. Sato, T. Nakajima, H. Taguchi, and Y. Takanashi, Thermoelectric characteristics of commercialized Mg_2Si source doped with Al, Bi, Ag and Cu, *Journal of Electronic Materials* **39**, 1708-1713 (2010).
9. T. Nemoto, T. Iida, J. Sato, Y. Oguni, A. Matsumoto, T. Miyata, T. Sakamoto, T. Nakajima, H. Taguchi, K. Nishio, and Y. Takanashi, Characteristics of a pin-fin structure thermal-to-electric uni-leg device using a commercial n-type Mg_2Si source, *Journal of Electronic Materials* **39**, 1572-1578 (2010).
10. N. Fukushima, T. Iida, M. Akasaka, T. Nemoto, T. Sakamoto, R. Kobayashi, H. Taguchi, K. Nishio and Y. Takanashi,

Thermoelectric properties of Sb-doped sintered Mg₂Si fabricated using commercial polycrystalline sources, *Materials and Devices for Thermal-to-Electric Energy Conversion* (Mater. Res. Soc. Proc. Vol.1166), ed. by J. Yang, G.S. Nolas, K. Koumoto, Y. Grin, (Mater. Res. Soc., 2009), pp.N03-21.1-N03-21.6.

[学会発表] (計 22 件)

1. 9th EUROPEAN CONFERENCE ON THERMOELECTRONICS
ECT 2011, (Thessaloniki, Greece); September 28 – 30, 2011
" Fabrication of Large Sintered Pellets of Sb-doped N-type Mg₂Si Using a Plasma Activated Sintering Method "
Y. Hayatsu, T. Iida, T. Sakamoto, S. Kurosaki, K. Nishio, Y. Kogo, and Y. Takanashi
2. 9th EUROPEAN CONFERENCE ON THERMOELECTRONICS
ECT 2011, (Thessaloniki, Greece); September 28 – 30, 2011
" Encouraging thermoelectric properties and durability of residual metal-Mg free Mg₂Si prepared by an all molten process "
T. Iida, T. Sakamoto, K. Nishio, Y. Kogo, Y. Taguchi, S. Sakuragi, and Y. Takanashi
3. 9th EUROPEAN CONFERENCE ON THERMOELECTRONICS
ECT 2011, (Thessaloniki, Greece); September 28 – 30, 2011
" Thermoelectric characterization of n-type Mg₂Si doped with transition metal elements "
T. Mito, T. Iida, T. Sakamoto, R. Miyahara, K. Nishio, Y. Taguchi, S. Sakuragi, Y. Kogo, and Y. Takanashi
4. 9th EUROPEAN CONFERENCE ON THERMOELECTRONICS
ECT 2011, (Thessaloniki, Greece); September 28 – 30, 2011
" Formation of electrode materials for sintered n-type Mg₂Si using electroless plating and monobloc sintering methods "
T. Sakamoto, K. Sugiyama, T. Iida, D. Mori, M. Ogi, Y. Honda, M. Tada, T. Sekiguchi, K. Nishio, Y. Kogo, and Y. Takanashi
5. IEEE 30th INTERNATIONAL CONFERENCE ON THERMOELECTRONICS
ICT 2011, (Traverse City, USA); July 17 – 21, 2011
" Examination of a thermally viable structure for an unconventional uni-leg Mg₂Si thermoelectric power generator "
T. Sakamoto, T. Iida, Y. Taguchi, S. Kurosaki, Y. Hayatsu, K. Nishio, Y. Kogo, and Y. Takanashi
6. IEEE 30th INTERNATIONAL CONFERENCE ON THERMOELECTRONICS
ICT 2011, (Traverse City, USA); July 17 – 21, 2011
" The use of transition metal silicides to reduce the contact resistance between the electrode and sintered n-type Mg₂Si "
T. Sakamoto, T. Iida, Y. Honda, M. Tada, T. Sekiguchi, K. Nishio, Y. Kogo, and Y. Takanashi
7. IEEE 30th INTERNATIONAL CONFERENCE ON THERMOELECTRONICS
ICT 2011, (Traverse City, USA); July 17 – 21, 2011
" Development of a thermal buffering device to cope with temperature fluctuations for a thermoelectric power generator "
K. Mizuno, K. Sawada, T. Nemoto, and, T. Iida
8. MATERIALS RESEARCH SOCIETY
2010 Fall Meeting, (Boston, USA) November 29 – December 2, 2010
" Electrical characteristics and thermal stability of metal electrodes for n-type Mg₂Si prepared by monobloc plasma activated sintering process "
M. Tada, T. Iida, Y. Honda, T. Sakamoto, H. Taguchi, and Y. Takanashi
9. ASIA-PACIFIC CONFERENCE ON SEMICONDUCTING SILICIDES 2010
Apac-Silicide 2010, (Tsukuba, Japan); July 24 – 26, 2010
" Thermoelectric properties and power generation characteristics sintered n-type Mg₂Si "
T. Sakamoto, T. Iida, N. Fukushima, Y. Honda, M. Tada, Y. Taguchi, Y. Mito, H. Taguchi, and Y. Takanashi
10. IEEE 29th INTERNATIONAL CONFERENCE ON THERMOELECTRONICS
ICT 2010, (Shanghai, China); May 30 – June 2, 2010
" Thermoelectric behavior of Sb- and Al-doped n-type Mg₂Si device under large temperature differences "
T. Sakamoto, T. Iida, S. Kurosaki, K. Yano, H. Taguchi, K. Nishio, and Y. Takanashi
11. 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS FOR ENERGY
(Karlsruhe, Germany); July 4 – 8, 2010
" Fabrication of an environmentally-benign Al-doped Mg₂Si thermal-to-electric conversion module by using industrial Si waste and recycled Mg alloy "
T. Sakamoto, T. Iida, S. Kurosaki, H. Taguchi, Y. Takanashi, S. Sakuragi, Y. Taguchi, Y. Mito, T. Nemoto, T. Nakajima

12. MATERIALS RESEARCH SOCIETY
2010 Spring Meeting, (San Francisco, USA) April 5 - 9, 2010
" Thermoelectric properties of sintered Mg₂Si fabricated using commercial Al-doped n-type polycrystalline sources "
T. Sakamoto, T. Iida, T. Miyata, S. Sakuragi, Y. Taguchi, Y. Mito, H. Taguchi, K. Nishio and Y. Takanashi
13. MATERIALS RESEARCH SOCIETY
2009 Fall Meeting, (Boston, USA) November 30 - December 4, 2009
" Direct thermal-to-electric energy conversion material of environmentally-benign Mg₂Si synthesized using wasted Si sludge and recycled Mg alloy "
Y. Honda, T. Iida, T. Sakamoto, S. Sakuragi, Y. Taguchi, Y. Mito, T. Nemoto, T. Nakajima, H. Taguchi, K. Nishio, and Y. Takanashi
14. IEEE 28th INTERNATIONAL CONFERENCE ON THERMOELECTRONICS
ICT 2009, (Freiburg, Germany); July 26 - 30, 2009
" Thermoelectric characteristics of commercialized Mg₂Si source doped with Al, Bi, Ag and Cu "
T. Sakamoto, T. Iida, A. Matsumoto, Y. Honda, T. Nemoto, J. Sato, T. Nakajima, H. Taguchi, and Y. Takanashi

[産業財産権]

○出願状況 (計 7 件)

名称: マグネシウムシリサイド、熱電変換材料、焼結体、熱電変換素子用焼結体、熱電変換素子、及び熱電変換モジュール
発明者: 飯田 努、三戸 隆人、宮原 良輔、坂本 達也、櫻木 史郎、田口 豊、水戸洋彦
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2011-*****
出願年月日: 2011/9/26
国内外の別: 国内、国外(予定)

名称: 焼結体、熱電変換素子用焼結体、熱電変換素子及び熱電変換モジュール
発明者: 飯田努、向後保雄、坂本達也、黒崎祥太、早津勇亮、水戸洋彦
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2011-*****
出願年月日: 2011/9/26
国内外の別: 国内、国外(予定)

名称: 蓄熱装置及び蓄熱装置を備えるシステム
発明者: 飯田努、坂本達也、水野邦明、水戸洋彦、根本崇、箕輪昌啓
権利者: 同上

種類: 特許
番号: 特願 2011-*****・PCT/JP2012/*****
出願年月日: 2011/3/30・2012/3/30
国内外の別: 国内外

名称: 熱電変換素子及び熱電変換モジュール
発明者: 飯田努、本多康彦、多田光宏、坂本達也、赤坂昌保
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2011-*****・PCT/JP2011/*****
出願年月日: 2011/11/30・2012/11/30
国内外の別: 国内外

名称: 熱電変換モジュールとその製法
発明者: 飯田努、西尾圭史
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2010-1226701
出願年月日: 2010/5/28
国内外の別: 国内

名称: アルミニウム・マグネシウム・ケイ素複合材料とその製法
発明者: 飯田努、福島直樹、坂本達也、水戸洋彦、難波宏邦、田口豊、赤坂昌保 立川守、日野賢一
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2009-174428・PCT/JP2010/062509
出願年月日: 2009/7/27・2010/7/26
国内外の別: 国内外

名称: マグネシウム・ケイ素複合材料とその製法
発明者: 飯田努、本多康彦、福島直樹、坂本達也、水戸洋彦、難波宏邦、田口豊
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2009-154701・PCT/JP2010/061185
出願年月日: 2009/6/30・2010/6/30
国内外の別: 国内外

[その他]

ホームページ等
http://web.mac.com/iida_lab/Info/Home.html
(2012年7月より新ホームページアドレス)
<http://www.tus-iidalab.net/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯田 努 (Iida Tsutomu)

東京理科大学 基礎工学部・准教授

研究者番号: 20297625