

Oral presentation | 8 Plasma Electronics : 8.3 Plasma nanotechnology

📅 Fri. Mar 14, 2025 9:00 AM - 10:45 AM JST | Fri. Mar 14, 2025 12:00 AM - 1:45 AM UTC 🏢 K201
(Lecture Hall Bldg.)

[14a-K201-1~7] 8.3 Plasma nanotechnology

Akimitsu Hatta(Kochi Univ. of Tech.)

9:00 AM - 9:15 AM JST | 12:00 AM - 12:15 AM UTC

[14a-K201-1]

Mass spectrometry of ammonia borane contained Ar plasma for h-BN film formation

○ Takeshi Kitajima¹, Reiji Kawasaki¹, Toshiki Nakano¹ (1.Nat. Def. Acad.)

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[14a-K201-2]

Relationship between electron density and gas-phase species in plasma for isocyanate group functionalization on Multi-walled Carbon Nanotubes

○ (M1)Kakuto Watanabe¹, Keiji Nakamura¹, Daisuke Ogawa¹ (1.Chubu Univ.)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[14a-K201-3]

Gas-Liquid Interfacial Plasma Generation inside a Microfluidic Plate

○ Hiroyuki Yoshiki¹, Akihiro Enta² (1.Sendai College, 2.Tsuruoka College)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[14a-K201-4]

Study on decomposition and removal of fine particles in incense smoke using rotary electrode dielectric barrier discharge with addition of argon gas

○ (B)Taiga Uramaru¹, Hironao Iwasaki¹, Yoon Myat Aung¹, Yin New Nyein¹, Mitsuhiko Hata¹, Yasunori Tanaka¹, Yusuke Nakano¹, Tatsuo Ishijima¹ (1.Kanazawa Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[14a-K201-5]

Analysis of optimization trends in plasma etching recipe using machine learning model trained by D-optimal design-based dataset

○ Ryo Morisaki¹, Takeshi Ohmori¹, Yasuhide Mori¹, Naoto Takano², Ryoji Asakura² (1.Hitachi, Ltd., 2.Hitachi High-tech)

◆ English Presentation

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[14a-K201-6]

Ripple structure formation on GaAs using Ar plasma irradiation

○ (PC)Quan Shi¹, Shin Kajita¹, Noriyasu Ohno² (1.Univ. Tokyo, 2.Nagoya Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[14a-K201-7]

Reduction of Dysprosium Oxide by Microwave Plasma

○ Hanae Yoshida¹, Satoshi Fujii¹, Yukiko Takahashi² (1.NIT,Okinawa Collage, 2.NIMS)

h-BN 成膜用アンモニアボラン含有 Ar プラズマの質量分析

Mass spectrometry of ammonia borane contained Ar plasma for h-BN film formation

防衛大[○]北嶋 武, 川崎 零士, 中野 俊樹National Defense Academy,[○]Takeshi Kitajima, Reiji Kawasaki,
and Toshiki Nakano

E-mail: kitajima@nda.ac.jp

1. はじめに

2次元エレクトロニクス分野で重要な絶縁材料¹である h-BN を高速合成するために、比較的扱いやすい BN 源としてアンモニアボランが用いられる²。高速成膜を目的とした際にはアンモニアボランプラズマが注目され、プラズマ中の活性種の分析が必要である。ここでは Ar プラズマを照射したアンモニアボラン粉末から生じる活性種を質量分析した。

2. 実験結果

高真空チャンバー内に平行平板型の 100MHz 駆動容量結合プラズマ装置を置く。RF 電極に 0.1g のアンモニアボラン(BH₃NH₃)粉末を置き真空排気後、Ar ガス流量 30sccm とし、10W のグロー放電を形成した。下流に 800°C に加熱した銅試料を置き、圧力 800Pa で BN ラジカルを供給すると図 1(a,b)に示す h-BN 原子膜が形成された。空間中のラジカル分析は質量分析計により圧力 10Pa で実施した。図 1(c)にプラズマの OFF-ON-OFF に伴う BNH₅ ラジカルと OH ラジカルのマス強度の推移を示す。プラズマ点火により OH と BNH₅ が共に増加している。

チャンバー内の残留 H₂O を起因として生じる OH の照射によりアンモニアボラン BNH₆ の分解が生じて BNH₅ の増加が生じる経緯が確認できた。

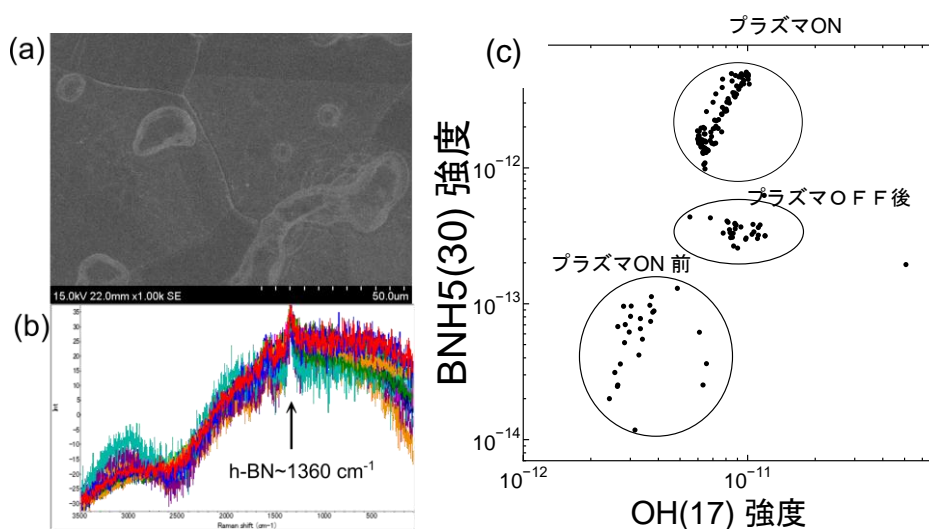
¹ K.H. Lee, et.al. Nano Letters **12**, 714 (2012).² L. Song, et.al. Nano Letters **10**, 3209 (2010).

図 1. (a) 銅基板上に形成された h-BN 薄膜の SEM 像。(b) h-BN 薄膜のラマンスペクトル。(c) Ar プラズマ下流での BNH₅ と OH のマス強度変化の相対関係。

多層カーボンナノチューブのイソシアネート基修飾のためのプラズマ生成時におけるプラズマ中の電子密度と気相中の粒子の関係

Relationship between electron density and gas-phase species in plasma for isocyanate group functionalization on Multi-walled Carbon Nanotubes

中部大工¹ ◦(M1) 渡邊 翔斗¹, 中村 圭二¹, 小川 大輔¹

Chubu Univ.¹, ◦Kakuto Watanabe¹, Keiji Nakamura¹, Daisuke Ogawa¹

E-mail: te24011-5579@sti.chubu.ac.jp

カーボンナノチューブ (Carbon Nanotubes, CNTs) は優れた物性を持っていることは広く知られているが、化学的に安定しているため、その表面を官能基修飾することによりその応用が期待されている。これまで我々のグループでは、より効果的な官能基修飾を達成するために、その修飾具合 (修飾率) とプラズマアクチノメトリ法によるプラズマ気相中に存在する粒子数密度との関係に着目して、その調査を進めてきた。そ

の結果、気相中の粒子数と官能基修飾との間に相関関係があり、特に気相中の酸素原子と窒素原子の数密度が同程度になったとき、CNT 上のイソシアネート基数が最大となる可能性があることがわかってきた[1]。しかしその一方で、それらの原子が同程度になるための条件は導入ガスの割合よりもプラズマの状態が重要であることもわかってきた。そこで、本研究では官能基修飾をするためのプラズマ生成時の電子の状態を計測し、各プラズマ生成条件において、電子と気相中の窒素原子や酸素原子の生成、さらに官能基修飾との関係について調査を行なった。

Fig. 1 は、本研究で使用した直径 120 mm、高さ 55 mm (壁厚 10 mm) の円筒型真空容器にアルゴンガスを流入させてプラズマを生成したときの電子密度計測の基礎データを示している。なお、ここでは計測にラングミュアプローブ (Langmuir Probe, LP) とカーリングプローブ (Curling Probe, CP) を使用した。この図で見られるように、プラズマを生成する電力を上げることで電子密度が増えていることが2つのプローブで観測されており、この容器での電子密度計測が可能であることがわかった。本発表ではプラズマ中の電子密度と気相中の粒子と関連づけて報告する。

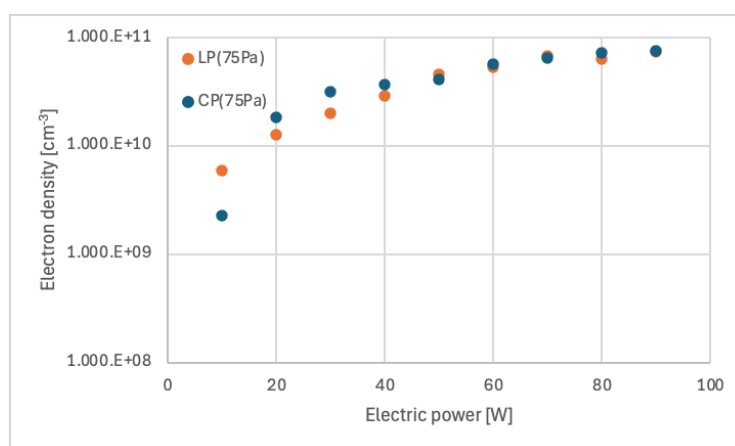


Fig. 1 Electron density in plasmas generated using reaction vessels for CNT functionalisation as a function of power used. (Langmuir probes in orange and Curling probes in blue.)

[1] D. Ogawa et al., *JVSTA* **41** (2023) 063001.

マイクロ流路プレート内の気液界面プラズマ生成 Gas-Liquid Interfacial Plasma Generation inside a Microfluidic Plate

仙台高専¹, 鶴岡高専² °吉木 宏之¹, 遠田 明広²

Sendai College¹, Tsuruoka College of Tech.², °Hiroyuki Yoshiki¹, Akihiro Enta²

E-mail: hyoshiki@sendai-nct.ac.jp

金ナノ粒子 (AuNPs) は光電変換材料、触媒、バイオセンサー、医療診断 (イムノクロマト診断薬) 等で利用されている。なかでもバイオセンサーへの応用が期待されるグルコース酸素酸化や、エタノール酸化等の触媒活性は粒径が ϕ 2-5 nm で発現することが知られており、AuNPs 合成では形状とサイズを均一に揃えること (単分散化) が重要である。AuNPs 合成では、塩化金酸 (HAuCl₄) 水溶液等の原料に NaBH₄ やクエン酸等の還元剤を添加する化学的還元法や、化学気相成長法、物理的スパッタ法等が知られている。他方、大気圧プラズマを HAuCl₄ 水溶液に照射してプラズマ気液界面で生成する水和電子や水素原子による還元を利用する方法 (プラズマ還元) が提案されている。この方法は還元反応 (核生成) をプラズマの ON/OFF でデジタル的に制御できる利点がある。しかし、還元試薬による化学反応やプラズマ還元反応では、ナノ粒子の核生成と核成長が同時に進行するので粒径分布は広がり単分散化には課題が残る。また、プラズマ照射 OFF 状態でも溶液中に金属イオンが豊富に存在すると粒子成長が進行するので触媒活性を発現する粒径 (ϕ 2-5 nm) を得るには核成長の停止操作が必要となる。そこで、二相合流マイクロ流体では拡散による物質移動が支配的、また大きな比界面積を有する等の利点に着目して、**図 1** に示すマイクロ流路プレート内の気液二相合流で気液界面プラズマ反応場を実現することを提案する。

著者は石英チップやプラスチック (PET、COC) チップ内のマイクロ流路 ($\phi < 1$ mm) に He、Ar の大気圧プラズマを生成する手法を確立している [1]。 **図 2** に COC マイクロ流路チップ内のパルス放電大気圧 He プラズマ生成の様子を示す。本研究では、低温プラズマが容易に生成可能なパルス放電をマイクロ流路プレート内の気液界面プラズマ生成に応用する。

[1] H. Yoshiki, T. Sasaki, T. Mitsui: Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 126202 (2018).

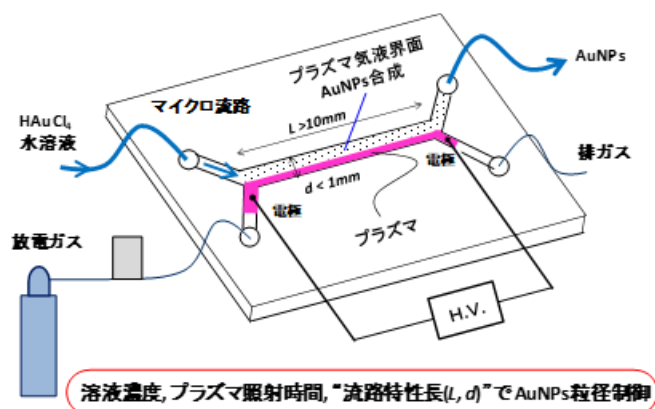


図 1 マイクロ流路プレート内でのプラズマ気液二相合流形成

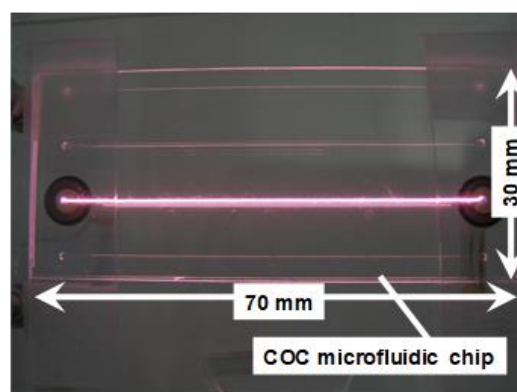


図 2 マイクロ流路チップ内の He プラズマ

アルゴンガスを添加した回転電極型誘電体バリア放電による 香煙中の微粒子の分解・除去に関する研究

Study on decomposition and removal of fine particles in incense smoke using rotary electrode dielectric barrier discharge with addition of argon gas

金沢大理工, [○](B) 浦丸 大雅, 岩崎 大直, Yoon Myat Aung, Yin New Nyein,

畑 光彦, 田中 康規, 中野 裕介, 石島 達夫

Kanazawa Univ., [○]Taiga Uramaru, Hironao Iwasaki, Yoon Myat Aung, Yin New Nyein,

Mitsuhiko Hata, Yasunori Tanaka, Yusuke Nakano, Tatsuo Ishijima

E-mail: taigauramaru5@stu.kanazawa-u.ac.jp

1. まえがき

工場等で排出される排気ガスは、微粒子や有機物が含有しており、多くは人間に有害である。ここで、大気中の煙に含まれる炭素成分を含んだ微粒子を取り除き、低分子化させて排気し無害化させる必要がある。筆者らは、回転電極型誘電体バリア放電(RE-DBDR)⁽¹⁾による微粒子の分解、除去を行い、これらの微粒子を分級し、化学組成を解析することで分解、除去効率の向上を検討している。本報では、RE-DBDR内に Ar ガスを添加した際の微粒子の分解、除去効率の変化を測定、解析した。

2. 実験方法

図 1 に香煙分級試験の装置図を示す。デジケーター内で 7 本の線香を燃焼させ、香煙とアルゴンガスを混合させる。混合ガスを RE-DBDR に導入しプラズマ処理する。プラズマ処理された香煙に含まれる微粒子をナノサンプラーに設置したフィルターで捕集し、粒径ごとに分級した。4 つのフィルター層として、BF 層、IF 層、NS-4 層、NS-3 層を用いることで、粒径が 0.1 μm 未満、0.1 - 0.5 μm 、0.5 - 1.0 μm 、1.0 μm 以上の微粒子を分級した。ここで、デジケーター入口流量を 0.4 slm, Ar 流量を 0, 0.5, 0.75, 1.0 slm, ナノサンプラーガス流量を 40 slm, RE-DBDR の電極回転数を 4800 rpm, 印加電圧を 30 kV とし、試験時間を 15 分とした。分級後、BF 層、NS-4 層、NS-3 層のフィルターを 1 cm^2 に切り出した。切り出した小片をカーボンアナライザを用いて、IMPROVE-TOR 法に従って OC(organic carbon), EC(elemental carbon)の炭素質成分を測定した。

3. 実験結果

図 2 に、BF 層に捕集された粒子の炭素質成分の炭素組成比について示す。まず、プラズマ処理の有無における炭素質成分について検討する。プラズマ処理を行った場合のほうが、行わなかった場合と比較して炭素

質成分以外の成分が増え、全体に占める炭素成分の割合が減少していることがわかる。さらに、炭素質成分の炭素組成比について着目すると、プラズマ処理を行った場合のほうが、OC1, OC2, Py-OC, OC1, OC2 の成分が大きく減少していることがわかる。また、Ar ガスの流量依存性について検討すると、プラズマ処理を行った場合について、Ar ガスの流量に比例してわずかに炭素質成分以外の成分が減少し、全体に占める炭素成分の割合が増加していることがわかった。

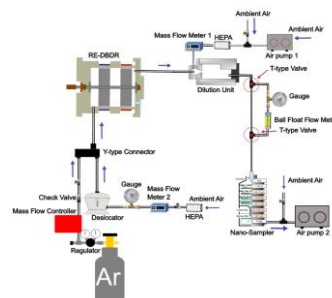


図 1 香煙分級試験の装置図

Fig.1. Experimental set up for inorganic aerosol treatment using RE-DBDR

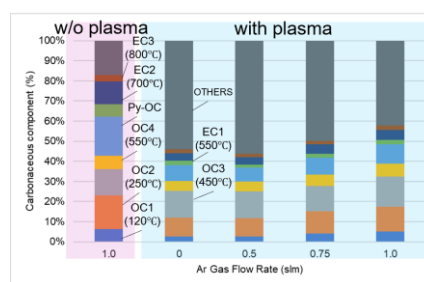


図 2 BF フィルターに捕集された粒子の炭素質組成比
Fig.2. Percentage of carbonaceous components captured in backun filter

文 献

(1)Paw, Naw Rutha, Takuma Kimura, Tatsuo Ishijima, Yasunori Tanaka, Yusuke Nakano, Yoshihiko Uesugi, Shiori Sueyasu, Shu Watanabe, and Keitaro Nakamura, Plasma Science and Technology, 23(2021) 105505.

D 最適計画に基づく初期学習データセットにより訓練された機械学習モデルを用いたプラズマエッチング条件最適化過程の解析

Analysis of optimization trends in plasma etching recipe

using machine learning model trained by D-optimal design-based dataset

日立研開¹, 日立ハイテク² ◦森崎 諒¹, 大森 健史¹, 森 靖英¹, 高野 直人², 朝倉 涼次²

Hitachi, Ltd., R&D Group¹, Hitachi High-tech Corp.²,

◦Ryo Morisaki¹, Takeshi Ohmori¹, Yasuhide Mori¹, Naoto Takano², Ryoji Asakura²

E-mail: ryo.morisaki.hy@hitachi.com

半導体デバイスの製造プロセス開発の迅速化を目的に、機械学習 (ML: Machine learning) 手法の適用が進められている。半導体プロセスの重要技術であるプラズマエッチングにおいても、所望のエッチング形状を得るエッチング条件 (レシピ) の最適化を目的に、ML が用いられている。

ML 手法を用いたレシピ最適化を行う際には、レシピとエッチング形状との関係を ML モデルに事前に学習させる必要がある。しかし、プラズマエッチングに関するドメインナレッジを有していない初学者には、ML モデル学習用のデータセットを作成するためのレシピを決定すること自体が難しいという課題がある。実験計画法を用いてレシピを決定することで、この課題を解決可能である。ここで、実験計画法に基づくデータセットと、熟練の技術者のナレッジに基づくデータセットを用いてそれぞれ ML モデルを訓練し、レシピ最適化を行った場合に、最適化結果に違いが生じることが考えられる。後者のアプローチは従来手法と同様である。本研究では、各アプローチに基づく二つの異なるデータセットを作成し、実際にレシピ最適化を行った。

図 1(a)と(b)に示すように、実験計画法の一種である D 最適計画に基づくアプローチによって、従来手法と同等以上の、垂直かつ高アスペクト比の Si トレンチエッチングを達成可能であることを確認した。さらに、各レシピパラメータがエッチング形状に与える影響度を示す指標である SHAP 値^[1]を用いて、訓練された ML モデルにおいて重要なレシピパラメータを同定した。また、SHAP 評価結果に基づき、両データセットを用いた場合の最適解探索の様子を解析した。

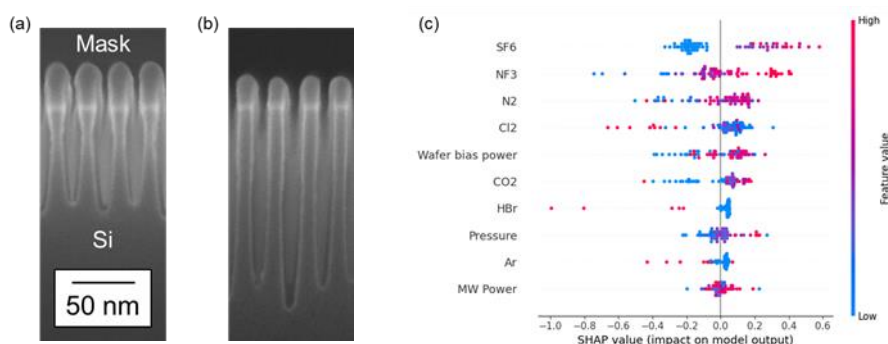


Fig.1 Cross-sectional SEM images of etched sample using (a) unoptimized recipe and (b) optimized recipe. (c) Impact of each recipe parameter on etching depth for Si trench etching.

[1] S. M. Lundberg and S. I. Lee, Proc. of the 31st Conf. on Neural Information Processing Systems, CA, USA, 4768-77 (2017)

アルゴンプラズマ照射を用いた GaAs 上のリップル構造形成 Ripple structure formation on GaAs using Ar plasma irradiation

東大¹, 名大² 石 権¹, 梶田 信¹, 大野 哲靖²

Univ. Tokyo¹, Nagoya Univ². °(PC)Quan Shi¹, Shin Kajita¹, Noriyasu Ohno²

E-mail: shi.quan@edu.k.u-tokyo.ac.jp

Gallium arsenide (GaAs) with nanoscale pattern is popular for semiconductor applications due to its unique optical and electrical properties [1]. Ion etching technique, such as ion beam etching, is widely used to form various kinds of surface pattern. Particularly, ripple structure can be easily formed when ions bombarded to the surface in an oblique angle [2]. However, the incident ion energy of ion beam is usually large (> 500 eV) which could lead to defects in semiconductor substrate materials. Plasma irradiation could control the ion energy in a small level conveniently by changing the bias on the sample. Nevertheless, due to the fact that the electric field in the plasma sheath is usually perpendicular to the material surface, there has been limited research on the inclined etching of materials by plasma. This study utilized an inclined magnetic field with respect to the surface normal and the influence of surrounding metals on the sheath of the substrate material to achieve inclined ion incidence, forming ripple structures on the surface of GaAs material.

Figs. 1(a-c) shows the GaAs ripple structure formed after the argon (Ar) plasma irradiation with RF bias. As the irradiation time increases, ripple becomes clear after 80 min. Fig 1(d) is the power spectra of horizontal lines on (a-c), which indicate the wavelength of the ripple. After 40 minutes of irradiation, the wavelength of the ripples is approximately 50 nm. After 80 minutes, it decreases to about 40 nm and remains unchanged even with longer irradiation times.

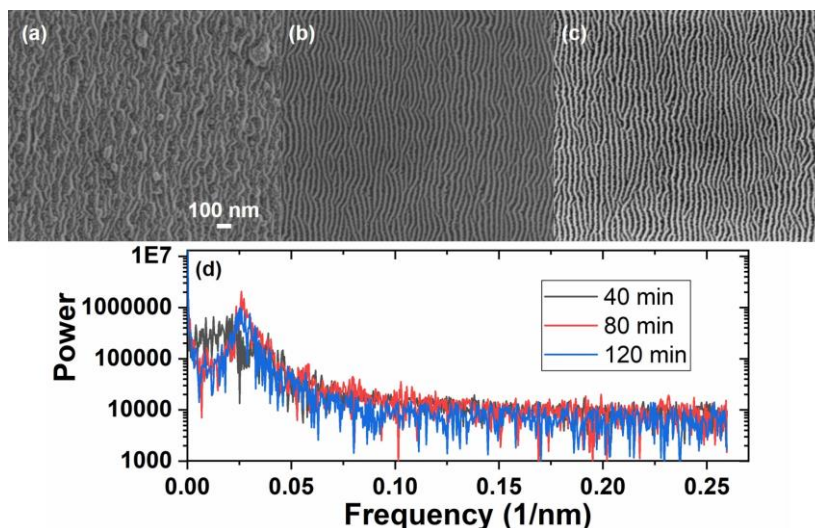


Fig. 1. SEM images of ripple structures formed on GaAs after Ar plasma irradiation for (a) 40, (b) 80, and (c) 120 min. FFT power spectra of horizontal lines on (a), (b), and (c), respectively.

[1] Baca, Albert G., and Carol IH Ashby. Fabrication of GaAs devices. No. 6. IET, 2005.

[2] D. Datta, Shyamal Mondal, S.R. Bhattacharyya, Growth process of GaAs ripples as a function of incident Ar-ion dose, Applied Surface Science, Volume 258, Issue 9, 2012 Pages 4152-4155,

マイクロ波プラズマによる酸化ディスプロシウムの還元反応

Reduction of Dysprosium Oxide by Microwave Plasma

沖縄高専¹, 物材研² ○(B) 吉田 英恵¹, 藤井 知¹, 高橋 有紀子²

N.I.T., Okinawa, Col.¹, NIMS.², °Hanae Yoshida¹, Satoshi Fujii¹, Yukiko Takahashi²

E-mail: s_fujii@okinawa-ct.ac.jp

マイクロ波照射を用いた化学反応では、触媒や粉体などの粒子間に局所的に電場や磁場が集中することにより反応速度が向上することや試料全体の還元反応温度が下がることが知られている。これらのメカニズムとして固体粒子間で電場が集中やさらにプラズマなどが報告されている。特に、個体粒子間の高温度反応ではこれらのプラズマが化学反応に直接関与し、反応促進が促進され、通常加熱の還元反応温度より低いと報告されている。これまで、我々はマイクロ波共振器中の高磁場により Mg を直接励起したプラズマによる酸化スカンジウムの 660°C 前後での還元反応を発見し、全く新しい省エネルギー手法としてマイクロ波プラズマ還元法を提案している [1, 2]。今回の報告では希土類元素の酸化ディスプロシウムの還元反応に応用し、磁石用原料となる DyCu 共晶合金の形成を目的とした研究を行った。その化学反応式(1)は以下の通りである。



本研究の実験装置はマイクロ波 TM110 円筒共振器により Mg プラズマを励起し、反応部には誘導加熱コイルや管状炉を用いた (Fig. 1)。共振器を用いてマグネシウム棒から Mg プラズマを還元材として用いた。また、酸化ディスプロシウムと銅の粉末をモル比 1:10 にて混合圧粉したペレットを反応炉に設置し、900°C 1 時間の還元反応を行った。実験後の反応生成物の解析は、SEM/EDS 分析、粉末 X 線回折測定及び磁気特性測定を行った。SEM/EDS 分析結果から Dy が局所的に存在し、また、粉末 X 線回折結果からは、Cu 99at% Dy 1at% の存在が確認された。次に、熱磁化率曲線の測定結果を Fig. 2 に示す。還元後試料では 125K~135K 範囲に磁気転移温度があることが確認された。これらの分析結果から酸化ディスプロシウムの還元の成功が示された。

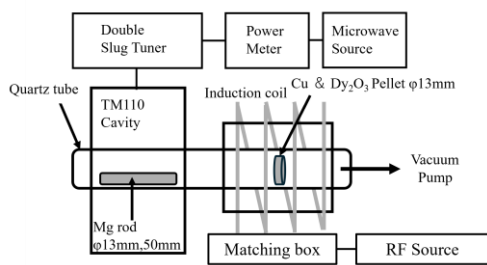


Fig.1 Schematic of the experimental setup

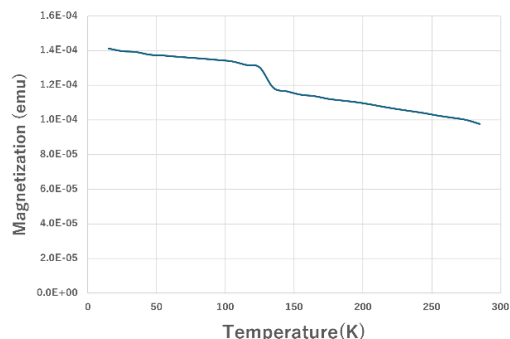


Fig.2 Magnetic properties from 25 to 275 K in a DC magnetic field

参考文献

- 1) S. Fujii, et al, "Microwave irradiation process for Al-Sc alloy production," Sci. Rep. 10 2689,2020
- 2) S. Fujii, et al, "Al-Sc Alloy Production using Metal Ion Plasma," E. J. M. E. 01 038-043, 2024