

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23656382

研究課題名（和文）

繊維状ナノ構造金属の応用開発：熱光起電力発電用吸収体・エミッター

研究課題名（英文） Development of absorber and emitter for solar thermophotovoltaic using nanostructured metals

研究代表者

梶田 信 (Kajita Shin)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・准教授

研究者番号：00455297

研究成果の概要（和文）：ヘリウム照射により形成されるナノ構造金属を熱光起電力発電に応用するために、その耐熱性、エミッタンスの変化を明らかにした。耐熱性に関しては、温度が上昇するとナノ構造が収縮していくことが明らかになり、熱光起電力発電用としては低温（1000K以下）で利用する必要があることが分かった。放射率の変化を調べたところ、広い波長範囲で放射率が1に近くなっており、少し収縮が起こった材料においては近赤外領域のみ放射率が高くなることが分かり、無駄な熱の放出がないことから、熱光起電力発電用により適していることが分かった。

研究成果の概要（英文）：To use the nanostructured metals for solar thermophotovoltaic system, the optical emittance of the material and the durability to high temperatures were investigated experimentally. It was found that the nanostructures were re-integrated to the surface when the surface temperature was sufficiently higher than 1000 K. Emittance became close to unity in wide wavelength range when the nanostructures were formed. When the nanostructures were slightly re-integrated to the surface, the emittance decreased in long wavelength range with high emittance in near infrared range; the material could be more suitable for the emitter for the thermophotovoltaic system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：プラズマ科学

科研費の分科・細目：

キーワード：ヘリウム、ナノ構造、プラズマ、金属物性

1. 研究開始当初の背景

熱光起電力（TPV）発電とは高温に加熱された光吸収体／エミッターからの輻射熱を化合物半導体系光起電力電池に導いて電力に変換する発電システムであり、理論的な発電効率が高く理想的な環境下では80%を越えると予想されており、次世代の太陽光発電システムデバイスとして注目され始めている。その開発に当たっては光吸収率の高い耐熱性のある吸収体と放出材料

エミッターの開発が当面の目標とされている。

2. 研究の目的

本研究では、核融合分野の実験にて申請者らにより見出されたヘリウム照射効果を利用した繊維状のナノ構造タンゲステンの新たな応用開発を目的とする。具体的には、次世代の太陽光発電システムデバイスとして注目され始めている熱光起電力発電用デバイスの開発を視野に入れ、光吸収率の高

い耐熱性のある吸収体と放出材料エミッターの開発を目指す。この材料は、もともと1000-2000K という高温環境下で形成されるため、高い耐熱性を持っていることが期待でき、また、ヘリウムを数十 eV というエネルギーで照射するという簡易なプロセスにより形成されるため、広い波長領域(太陽光の波長領域 $<2.5\mu\text{m}$)における光吸収体としての効果と選択的な輻射率の改善の効果があきらかになれば、高効率な光吸収体としての応用に広く利用できる。

3. 研究の方法

基幹装置として直線型プラズマ模擬装置 NAGDIS (名古屋大学所有) を用い、タングステンへのヘリウムプラズマ照射実験を行いナノ構造を形成させる (図 1(a) 参照)。照射時には、in-situ で参照用に光学反射率 (鏡面反射率) を計測するとともに試料からの赤外領域 ($1\sim 5\mu\text{m}$) の輻射光の計測を行う。また、ナノ構造試料を加熱し、ナノ構造が形成される条件と、破壊が起こる条件を調べ、その耐熱性を明らかにする。

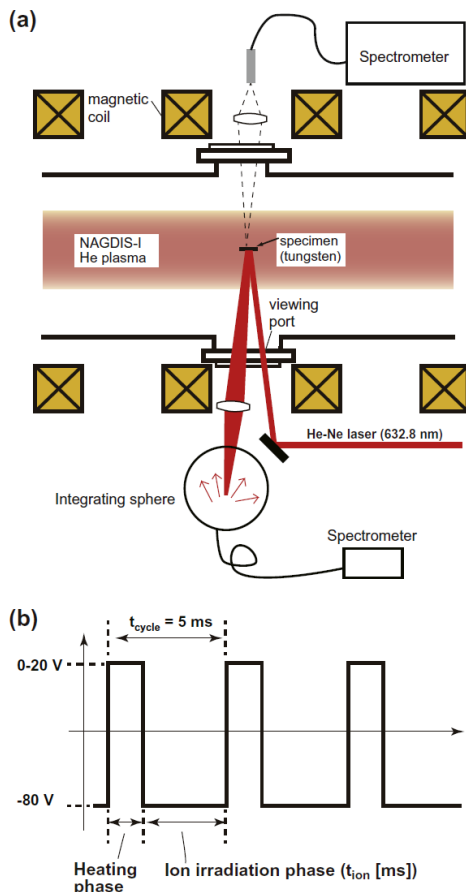


図 1 : (a) A schematic of the experimental setup in the NAGDIS-II. (b) A schematic of the temporal evolution of the potential of specimen.

また、タングステンのみではなく、異なる金属資料においてもナノ構造形成の有無を

明らかにする。照射時に温度制御とヘリウムフラックスを制御するために、図 1(b) のように、試料のバイアスを変化させた。試料が負にバイアスされているときには、イオン照射が行われ、正にバイアスされているときには電子照射により加熱が行われる。繰り返し周波数は 200 Hz と高いため、バイアスによる温度の瞬間的な上昇は無視できる。

4. 研究成果

図 2 は、ナノ構造タングステンをプラズマ中で電子加熱した試料の透過電子顕微鏡 (TEM) 写真である。10 分、20 分、30 分と加熱時間が長くなるにつれて、表面の凹凸が消えて、20~30 分後には、表面に形成されていたナノ構造 W が消失した。ただし、30 分加熱後にも、表面から 100 nm 程度の領域に、バブルの存在が見て取れる。この結果から、おそらく、加熱時には大きなバブルの移動はほとんどなく、ナノ構造が収縮して堆積したと考えられる。

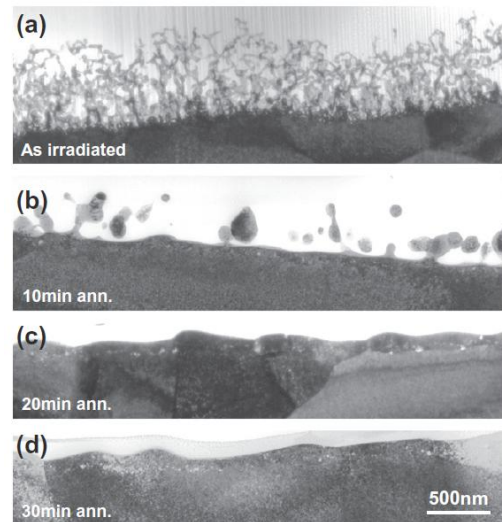


図 2 : (a)-(d) are the TEM micrographs of W annealed for 0, 10, 20, and 30 min, respectively.

図 3(a) と (b) は、それぞれ、プラズマ中でのナノ構造形成時とアニーリング時の加熱された試料からの発光スペクトルの変化である。形成時には、放射率が增加するため、その結果、プラズマからの熱流入とバランスするように温度が決まり、温度の低下が起こり、結果的にピーク波長が長波長側へシフトした。一方で、アニーリング時には、その逆で、放射率の減少が起こるため、温度の上昇が起こり、ピーク波長が短波長側へとシフトした。放射率は、別途、レーザーと積分球を用いて計測し、その結果を利用して温度を評価し、また放射率を評価した。

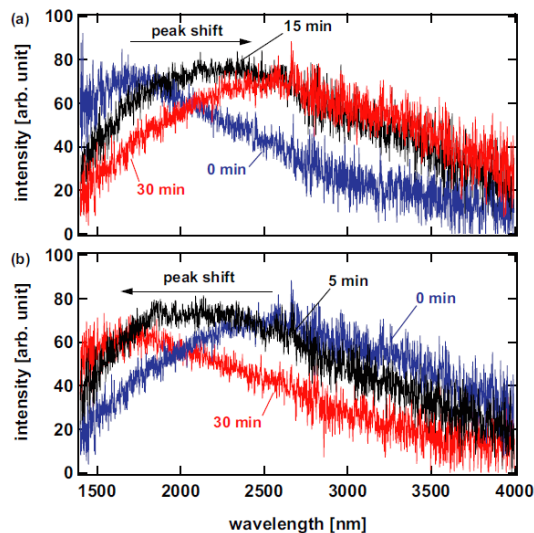


図 3: (a) Radiation spectrum at the irradiation time of 0, 15, 30 min. (b) Radiation spectrum at the irradiation time of 30, 35, 60 min.

図 4 は計測された放射率（波長依存性）の時間変化である。ナノ構造形成により、およそ $2 \mu\text{m}$ 程度までは放射率が 1 に近くなっていることが分かる。

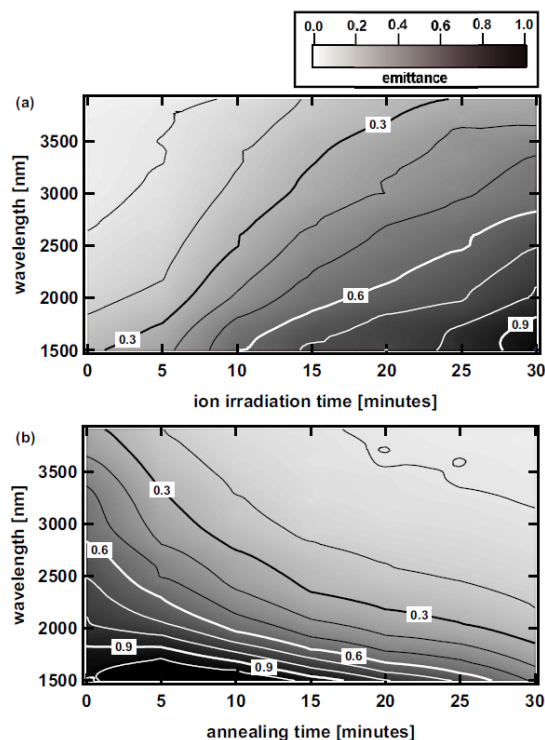


図 4: The temporal evolutions of the emittance during (a) ion irradiation and (b) electron irradiation (annealing).

また、アニーリングに伴い、長波長側の放射率が落ちていく一方で、 $2 \mu\text{m}$ 付近の放射率は維持されていることが分かる。このことか

ら、近赤外領域のみ放射率が高いことが求められる熱光起電力発電のエミッターとしては、少しアニーリングされた試料が適していると言える。

最後に、図 1 (b) に示した周期的バイアス実験により、ナノ構造形成のフラックス依存性を明らかにした。実験の結果、ナノ構造形成とナノ構造が収縮していくヘリウムフラックスの閾値が存在することが明らかになった。ヘリウムフラックスが十分でない場合には、収縮が起こり、閾値以上だとナノ構造形成が進行していく。閾値は $1400\text{--}1600 \text{ K}$ の温度領域で観察され、フラックスはおよそ $10^{21}\text{--}10^{22} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の範囲であった。この形成に関するヘリウムフラックスの閾値は、照射の履歴に影響して変化することが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- (1) S. Kajita, N. Yoshida, R. Yoshihara, et al. “TEM observation of the growth process of helium nanobubbles on tungsten: Nanostructure formation mechanism”, J. Nucl. Mater. Vol.418 (2011) 152-158.
- (2) S. Kajita, T. Yokochi, N. Ohno, T. Kumano, “Near Infrared Radiation from Heated Nanostructured Tungsten”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.51 (2012) 01AJ03.
- (3) S. Kajita, N. Ohno, T. Yokochi, N. Yoshida, et al., “Optical properties of nanostructured tungsten in near infrared range”, Plasma Phys. Control. Fusion, Vol.54 (2012) 105015 (7 pp).
- (4) S. Kajita, N. Yoshida, R. Yoshihara, N. Ohno, et al., “TEM analysis of high temperature annealed W nanostructure surfaces”, J. Nucl. Mater. Vol.421 (2012) 22-27.
- (5) S. Kajita, T. Yoshida, D. Kitaoka, et al. “Helium plasma implantation on metals: Nanostructure formation and visible-light photocatalytic response” J. Appl. Phys. Vol. 113 (2013) 134301 (7 pages).

[学会発表] (計 8 件)

- (1) S. Kajita, “Variation of reflectance and emittance of W during the helium irradiation”, 20th Meeting of the ITPA Topical Group on Diagnostics The Netherlands, May 23-26 2011, アムステルダム (オランダ) 2011.5.23-26.
- (2) S. Kajita, N. Yoshida, R. Yoshihara, N. Ohno, D. Kitaoka, “Fabrication of Porous Metallic Nanostructure by Helium

- Irradiation”, The 30th International Conference on Phenomena in Ionized Gases, 28th Aug. to 2nd Sep.2011, Belfast, U.K.
- (3) D.Kitaoka, S.Kajita, N.Ohno, T.Yoshida, “Surface modification of titanium by the exposure to helium plasma”, PLASMA2011, 石川県立音楽堂, 2011.11.21-25
- (4) Y.Hirahata, N.Ohno, M.Yamagiwa, S.Kajita, N.Yoshida, R.Yoshihara, T.Tokunaga, M.Tokitani, “Influence of crystalorientation on damages of tungsten exposed to helium plasma”, PLASMA2011, 石川県立音楽堂, 2011.11.21-25
- (5) S.Kajita, N.Yoshida, R.Yoshihara, N.Ohno, “Formation of porous metallic nanocone array by helium plasma irradiation”, ISPlasma2012, 中部大学, 2012.3.4-8
- (6) D.Kitaoka, S.Kajita, N.Ohno, T.Yoshida, “Surface morphology changes of titanium exposed to helium plasmas”, ISPlasma2012, 中部大学, 2012.3.4-8
- (7) 北岡大輝、梶田信、吉田朋子、大野哲靖、吉田直亮「ヘリウムプラズマ照射によるチタンの表面構造変化と光触媒特性」第9回核融合エネルギー連合講演会、2012.6.28-29・神戸国際会議場(発表 6/28) 29A-146p、2012.
- (8) 野杵泰幸、大野哲靖、梶田信、北岡大輝「高エネルギーヘリウムプラズマ照射によるタンゲステン表面の構造変化」平成 25 年電気学会全国大会、3/20-22 名古屋大学、1-179, 2013.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶田 信 (Kajita Shin)
名古屋大学・エコトピア科学研究所・
准教授
研究者番号：00455297

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし