

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14129

研究課題名(和文) 太陽熱光発電実現のための光吸収膜・波長選択性熱輻射光源の一括製作プロセスの開発

研究課題名(英文) Development of Monolithic Fabrication Process of Integrated Light Absorber and Wavelength-Selective Thermal Emitter for Solar Thermophotovoltaic Power Generation

研究代表者

岩見 健太郎 (Iwami, Kentaro)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80514710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、太陽熱光発電の実現のための、太陽光吸収膜と波長選択性熱輻射光源を一括製作する加工方法の開発に取り組んだ。太陽熱光発電は、太陽電池を超える高い効率が理論的に期待されている発電方法である。この方法では太陽光を熱として吸収し、それを赤外線として放出する熱輻射光源が必要となる。この吸収膜と光源は従来集積化することが難しかったが、本研究は耐熱合金であるニッケルタングステン(Ni-W)のめっき法を用いて一括加工を行う手法を提案し、実証したものである。

研究成果の概要(英文)：A process for the simultaneous fabrication of microcavity structures on both sides of a film was proposed and demonstrated to develop a freestanding-type integrated absorber-emitter for use in solar thermophotovoltaic power generation systems. The absorber-emitter-integrated film comprised a heat-resistant Ni-W alloy deposited by electroplating. A two-step silicon mould was fabricated using deep reactive-ion etching and electron beam lithography. Cavity arrays with different unit sizes were successfully fabricated on both sides of the film; these arrays are suitable for use as a solar spectrum absorber and an infrared-selective emitter. Their emissivity spectra were characterised through UV-vis-NIR and Fourier transform infrared spectroscopy.

研究分野：マイクロ・ナノシステム

キーワード：MEMS 太陽熱光発電 マイクロ・ナノシステム STPV Ni-W

1. 研究開始当初の背景

太陽熱光起電力 (Solar Thermophotovoltaic, STPV) 発電は、いまだ実用化に至っていない。STPV 発電の効率の理論限界は、85%に達するとされ(カールスルーエ大 Wurfel ら、Semicond. Sci. Tech. 2003)、太陽電池の限界を大きく上回るため将来の超高効率太陽光発電への応用が期待されている。STPV は、(1)広波長帯域の太陽光吸収膜で太陽エネルギーを熱に変換し、(2)その熱を利用して波長選択性熱輻射光源から赤外線を輻射し、(3)高効率な赤外太陽電池で発電するという手順を取る。特に重要な構成要素は(1)と(2)で、各要素の研究は研究開始時点までに大きく進展していた。タングステン(W)などの耐熱金属を波長程度の大きさの共鳴管(キャビティ)構造に加工すれば、動作温度が高く効率の良い光源や吸収膜が得られることが報告されていた(東北大 湯上ら、APL2004、ジョージア工科大 Zhang ら、Opt. Commun. 2007 等)。そこで、実用化に向けた課題の一つとして、耐熱金属の微細加工が難しく、要素(1)と(2)とを統合できないことに着目した。

研究開始時点までに、我々のグループでは耐熱合金として Ni-W 合金に着目しており、STPV 用のエミッタとしての開発を行っていた。本研究においては、それまでの Ni-W の研究を発展させて、特殊な形状の鋳型に電解めっきを行うことで、吸収膜と光源とを一括製作できる手法を着想した(図 1(a)-(c))。図 1(a)のように Si 鋳型パターンを千鳥配置し、適切な膜厚でめっき成膜すれば、図 1(b)のように鋳型と相補的なキャビティパターンを鋳型の反対側に製作することができる。鋳型を除去して図 1(c)のような NiW の自立膜が得られれば、図 1(d)のように寸法の異なるキャビティを膜両面にもつ構造が形成できる。キャビティ寸法を調整して NiW 膜の片側を太陽光吸収膜、反対側を熱輻射光源に適したサイズで加工できれば、STPV のための太陽光波長変換デバイスが構成できる。

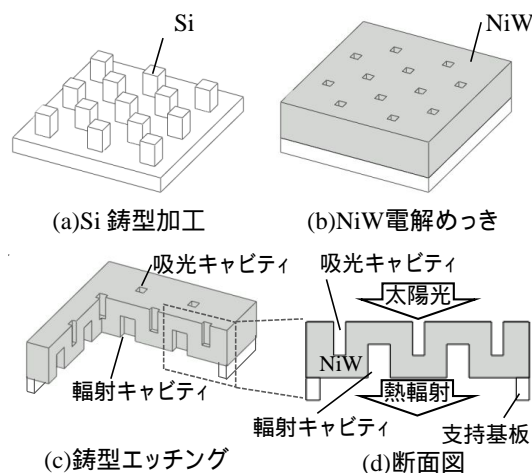


図 1 製作方法

2. 研究の目的

1. で示した一体型アブソーバ・エミッタを実現するため、研究期間内には(1)両面一括製作プロセスの確立、(2)数値解析による高効率 STPV のための構造最適化(3)NiW 自立膜構造デバイスの作成、に取り組むとともに、これらの結果の STPV 実用化に向けた適用可能性検証を本研究の目的とした。

3. 研究の方法

平成 28 年度には、提案する(1)両面一括製作プロセスの確立、(2)数値解析による高効率 STPV のための構造最適化に取り組んだ。まず、本研究の中心提案である両面一括製作プロセスの確立を行なった。Ni-W 電解めっきと鋳型エッチングを行い、両面に寸法の異なるキャビティが形成された構造膜をリリースすることができた。製作結果を図 2 および 3 に示す。めっき膜の膜質を最適化するため、DC めっきおよびパルスめっきの条件の最適化に取り組んだ。その結果、応力増加の主要因は、めっき中のガス混入による膜の収縮であることが明らかになった。これを解決するため、めっき効率が良い状態の DC めっきの場合に最も応力が低下した良い膜質が得られることが分かった。また、従来はめっきのシード層に金を用いていた。本研究ではシード層に Ni のスパッタ膜を用い、離型には XeF₂ ガスエッチングを用いることで歩留まり向上を図ったが、Ni 膜上での Ni-W めっき膜の付着強度が弱く断念した。

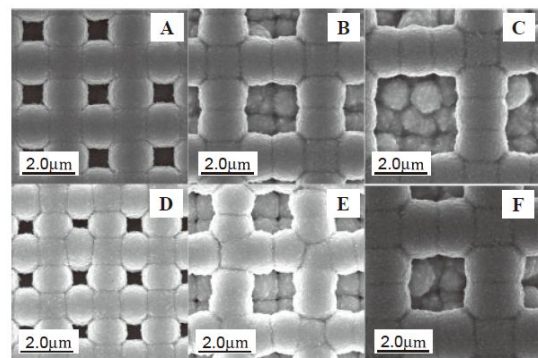


図 2 輻射側キャビティの製作結果 (雑誌論文より引用。アルファベットは試料記号を示す)

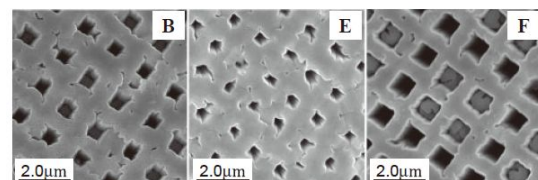


図 3 吸光側キャビティの製作結果 (雑誌論文より引用。アルファベットは試料記号を示す)

平成 29 年度には、前年度の研究成果を受け、自立膜型 STPV デバイス製作と評価に取り組んだ。とくに、細長いはりによって支持された Ni-W の自立膜の設計・製作プロセスの開発に取り組んだが、内部応力による支持はりの曲がりや破断の問題があり、単純自立膜の製作に切り替えることとした。平成 28 年度に考案した相補転写プロセスに基づき製作を行い、両面で異なる輻射率を有する自立構造膜を製作することができた。また、エッチング用のパターンの最適化によって、自立膜 基板間の距離を最適化するパターン設計を行った。

4. 研究成果

平成 28 年度には、製作した膜に対して、常温で両面の反射率分光計測を行って図 4 に示すような輻射スペクトルの変化を確認した。また、これらの結果と理論解析から、設計パラメータを明らかにした。吸光カットオフ波長を左右する支配的要因を明らかにすることができ、エミッタ・アブソーバ両側において、所望のカットオフ波長を有するスペクトル形状を得るための理論的基盤を確立できた。一方、エミッタ側の長波長輻射率が高いという新たな問題が生じたが、これは型の製造工程で生じる表面粗れに起因すると考えられるので、この解決に向けた加工方法の確立を図る必要がある。

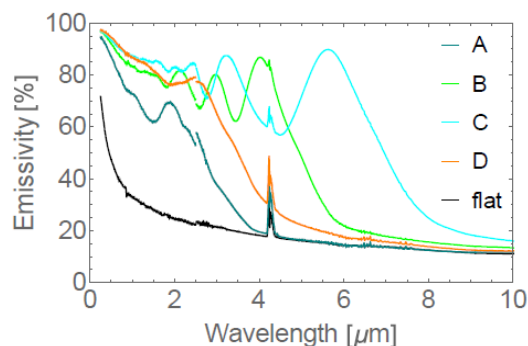


図 4 熱輻射光源の輻射率スペクトル(常温)の変化(雑誌論文より引用)

平成 29 年度には、製作したデバイスを真空チャンバ中で加熱し、輻射スペクトルの分光分析を行った。その結果、エミッタのキャビティ共鳴効果により、輻射ピーク波長が黒体スペクトルから変調されていることが明らかとなり、本手法によるスペクトルの制御の有効性が確認された。また熱応力や熱変形の影響についても調査したが、本調査の時間内では大きな構造変形は観測されなかった。これらの結果から、本手法が STPV 用アブソーバ・エミッタデバイスの実現にとって有効な手法であることが確認されたといえる。今後は、光照射によるデバイス加熱や、赤外 PV セルを用いた発電実験を行うとともに、デバイスをさらに高度化することによって、将来

的な STPV の実現につなげることが期待である。

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 1 件)

Nashun, Masahiro Kagimoto, Kentaro Iwami, and Norihiro Umeda, “Simultaneous fabrication of a microcavity absorber-emitter on a Ni-W alloy film”, Japanese Journal of Applied Physics, 56 100310 (4 pages) (2017) 査読あり
DOI: 10.7567/JJAP.56.100310

〔学会発表〕(計 2 件)

岩見健太郎、「両面一括製作法による太陽熱光発電用 Ni-W アブソーバ・エミッタ」第 77 回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム「ナノフォトニクスと熱の融合」(招待講演) 2016 年 09 月 13 日、朱鷺メッセ(新潟市)

Na Shun, Masahiro Kagimoto, Norihiro Umeda, and Kentaro Iwami, “Monolithic Fabrication of NiW Alloy Absorber/Emitter for Thermophotovoltaic Power Generation,” The 11th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE-NEMS 2016) (国際学会) 2016 年 04 月 18 日, Matsushima, Miyagi, Japan

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://nmems.lab.tuat.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩見 健太郎 (IWAMI, Kentaro)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：80514710

(2) 研究分担者

梅田 倫弘 (UMEDA, Norihiro)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：60111803

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()