

# Maskless plasma etching antireflection nanostructures on optical elements in concentrator photovoltaic systems

|          |   |
|----------|---|
| その他のタイトル | 集光型太陽光発電システムにおけるマスクレス・プラズマエッチング・ナノ構造を用いた低反射光学素子                                 |
| 学位授与年月日  | 2014-03-24  |
| URL      | <a href="http://doi.org/10.15083/00006817">http://doi.org/10.15083/00006817</a> |

## 審査の結果の要旨

氏名 タマヨ ルイス エフライン エドアルド

本論文は、「Maskless plasma etching antireflection nanostructures on optical elements in concentrator photovoltaic systems (集光型太陽光発電システムにおけるマスクレス・プラズマエッチング・ナノ構造を用いた低反射光学素子)」と題し、集光型太陽光発電(CPV)において、太陽電池モジュールの光学素子表面にマスクレス・プラズマエッチングによりナノ加工を施すことで、広い波長域にわたって反射損失を抑え、発電効率を向上させる手法について述べたものであり、全6章からなる。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を解説している。第2章では、CPV太陽光発電の特徴について述べている。集光型太陽電池モジュールでは、太陽光を集光させるためのPMMAレンズ、及びレンズにより絞られた強パワーの太陽光を太陽電池に均一に照射させるためのガラス製ホモジナイザーが必要となるが、これらの光学素子での表面反射損失がトータルで12%程度になり、これに伴い発電効率も低下する。したがって光学素子表面における太陽光の反射を抑えることの重要性を議論している。本論文では、光学素子表面にナノスケールの加工を施すことによりブロードバンドの低反射損失が可能になることを実証することが目的であり、まず理論計算によってナノ構造低反射光学素子の設計を行っている。さらにこうしたナノプロセスを、ナノインプリント法などの従来手法と比べて、より低コストで大面積の加工が可能なプラズマエッチング技術を用いることの優位性を述べている。

第3章では、集光レンズの材料として広く用いられているPMMAとホモジナイザーとして使われているガラス(Schott B270)に対して、 $\text{CHF}_3$  ガスを用いたプラズマエッチングを行い、その後、酸素プラズマエッチングと水リンス処理を行うことで、第2章で行った最適設計に近いナノ構造が得られた。Schott B270のガラスでは、広波長域にわたって96%以上(片面ナノ加工)、99%以上(両面ナノ加工)の優れた光透過率特性が得られている。Schott B270のガラスに対するプラズマエッチングのメカニズムを詳細に調べたところ、ガラス中に含まれるCaが $\text{CHF}_3$  ガスと反応してナノサイズのフッ化カルシウムが表面に自然生成され、これがマスクの役割を果たすことでナノピラー構造が形成されることを明らかにした。アスペクト比、サイズは光透過率特性に影響し、プラズマエッチングの条件によってマスクレスでかつナノ構造の制御が可能であることを示した。

第4章では、マスクレス・プラズマエッチングにより作製したナノ構造加工低反射集光レンズとホモジナイザーを搭載した集光モジュールのフィールドテストを行った結果について述べている。集光モジュールの太陽電池にはInGaP/InGaAs/Geの3接合タンデムセルを用い、フィールドテストはスペイン・マドリード工科大学内、及び本学に

設置された追尾型太陽光発電システムを用いた。ナノ構造加工光学素子を用いた集光モジュールでは、従来タイプと比較して電流が最大 6.56%、また発電効率が 3.82%それぞれ増大することを実証できた。さらに結露への対策として、これらのナノ構造加工光学素子に対して撥水性コーティング処理を行い、特性への影響を評価した。

第 5 章では、前章までに検討した平面の PMMA やガラス表面へのプラズマエッチング加工に加えて、曲面のガラスや光学レンズに対してプラズマエッチングによるナノ表面構造形成を行い、平面上の場合と劣らない光透過特性を得ている。

第 6 章は、結論であって、本研究で得られた成果を総括するとともに、将来展望について述べている。

以上のように本論文は、集光型太陽光発電において、太陽電池モジュールの光学素子表面にナノ構造加工を施すことにより広い波長域にわたって反射損失を抑え、発電効率を向上させることが可能であることを示し、国内外のフィールドテストサイトで実証を行った。光学素子に  $\text{CHF}_3$  ガスを用いたプラズマエッチングを行い、その後、酸素プラズマエッチングと水リンス処理を行うことで、ブロードバンドな低反射特性が得られることを示した。このとき、ガラス中に含まれる Ca が  $\text{CHF}_3$  ガスと反応してナノサイズのフッ化カルシウムが表面に自然生成され、これがマスクの役割を果たすエッチングのメカニズムを明らかにした。本論文の研究成果は、先端学際工学、特に太陽光発電分野、光学素子分野に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。