

平成 22 年 5 月 23 日現在

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19360329  
 研究課題名 (和文) 500℃以上の耐熱性を有する紫外線透過光学材料の高強度室温接着  
 研究課題名 (英文) High-strength room temperature adhesion of ultraviolet ray transmitting optical materials that have heat resistance to temperatures above 500 degrees centigrade.  
 研究代表者  
 村原 正隆 (MURAHARA MASATAKA)  
 東京工業大学・イノベーション研究推進体・特任教授  
 研究者番号：40166301

研究成果の概要：紫外から近赤外線域まで透明で、収縮応力に伴う亀裂の発生もない石英ガラス同士の強接着を室温下で可能にし、従来の 1500℃内外での熱融着行程を無くした。すなわち、石英ガラス同士の被接合面に塗布されたシリコンオイルに紫外線を照射して、光酸化によって無機ガラスに変質させる過程で接着効果を発現させ、元来石英ガラスが有している高強度性、耐熱性、高紫外線透過性を維持したまま室温下での接着を実現した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
2008年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,700,000	4,710,000	20,410,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：シリコンオイル、エキシマランプ、光酸化膜、紫外線透過接着膜、アモルファスガラス、耐熱性、非線形光学結晶、耐水性

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は、1986年、空気中でシリコンオイルにArFエキシマレーザーを照射するとガラス化するという本研究代表者(村原)の論文(塑性と加工、27(1986))および、1996年、水の存在下でテフロンにArFエキシマレーザーを照射し、テフロン表面にOH基を置換し、これをエポキシ樹脂で接着すると、未処理の650倍(12 MPa)の接着強度が得られることを

世界で初めて報告している(日本経済新聞1993.1.22, 読売新聞1994.4.20, J.Adhesion Sci.Tech. 9(1995))。また2000年9月「フッ素樹脂の表面改質方法: Solid Surface Modification Method and Apparatus」米国特許(USP 006117497A)を獲得した。一方テフロンから引き抜かれたF原子と水の光分解により生成したHが反応し、フッ酸が出来る事を日経マテリアル&テクノロジー No.137 1月号(1994)で

報告している。このパルスレーザー光が照射されている $10^{-8}$ 秒間で生成されたフッ酸を用いて石英ガラスを研磨する方法を、2000年10月米国ボルダーで開催された第32回 Boulder Damage Symposium で“Photo chemical polishing of fused silica micro optics by using ArF excimer laser”と題して発表し、The best presentation award に採択された。その論文が“Photo-Chemical Polishing of Fused Silica Optics by Using ArF Excimer Laser” SPIE Vol. 4347 (2001)である。この課題で2002年度萌芽研究「水とエキシマレーザーを用いた合成石英ガラスの研磨」フッ素樹脂の光反応により研磨痕皆無の石英ガラスの研磨を実現し、2003、2004年度基盤研究(B)「水とエキシマレーザーを用いた非球面ミラーの研磨」では、研磨の為にフッ素樹脂フィルムと石英レンズの接着に成功し、研磨面の形状も材質も問わない高精度研磨を実現し、紫外線が透過しない光学材料であるSiCの研磨に成功し、“Excimer Laser-Induced Photochemical Polishing of SiC Mirror” SPIE Vol.4679 (2002)を論文として報告した。さらにこの接着法を、石英ガラス同士の接着に応用し、Xe<sub>2</sub>エキシマランプ光を60分間照射すると接着強度がエポキシ樹脂接着剤の2倍の18 MPa を呈したことを論文として“Photochemical adhesion of fused silica glass for UV transmittance”, SPIE Vol.5647(2005)に報告した。さらに2005年4月4日の日経産業新聞に「石英ガラス室温で接着」と報道された。2006年度、萌芽研究「耐熱性・紫外線透過性を満足する石英ガラスの高強度室温接着」により、紫外線照射による光化学反応により紫外から近赤外線域まで透明で、収縮応力に伴う亀裂の発生もなく、耐熱性、不燃性、耐水性を満す石英ガラス同士の強接着を室温下で可能にし、「エキシマランプを用いた石英ガラスの室温接着とコーティング」セラミック、41[6] (2006)に掲載されている。

## 2. 研究の目的

石英ガラスの高純度性、紫外から赤外波長域にわたる光透過性は、光学窓材やレンズあるいは光ファイバーなどに利用され、耐熱性や低熱線膨張係数特性は、半導体熱処理用機器などに利用されている。しかし、これら石英ガラス同士の接着は 1500°C内外の温度下での熱融着の域を脱していなかった。

本研究では石英ガラス同士の被接合面に塗布されたシリコンオイルに紫外線を照射して、光酸化によって無機ガラスに変質させる過程で接着効果を発現させ、元来石英ガラスが有している高強度性、耐熱性、高紫外線透過性を維持したまま、紫外から近赤外線まで透明で、接着層に収縮応力に伴う歪の発生も無く、不燃性、耐水性を満し、かつ、500°C以上の熱耐性を有する石英ガラス同士の

の強接着を室温下で可能にする。

## 3. 研究の方法

### (1) 光酸化反応メカニズムの解明

シリコンオイルは天然石英と同じ無機質のシロキサン結合(Si-O-Si)と有機質のメチル基(-CH<sub>3</sub>)とから成る。珪素(Si)原子に結合した原子が酸素(O)原子の場合は硬質な石英であり、メチル基の場合は粘性のある油である。このメチル基を紫外線の光反応により酸素に置き換えれば有機シリコンオイルを無機石英ガラスに変質できる。そこで接着剤としてシリコンオイルを2枚の合成石英ガラスで挟み、被接着層にXe<sub>2</sub>エキシマランプ光を照射する。この接着メカニズムは石英ガラス表面に吸着した酸素が光照射によって励起され、 $O_2+h\nu \rightarrow O(^1D)+O(^3P)$ のように活性酸素O(^1D)を生成する。この活性酸素は光励起されたシリコンオイルは $[SiO(CH_3)_2]_n + nO(^1D) + h\nu \rightarrow (SiO_2)_n + CO_2 + H_2O$ のように反応し、無機ガラスSiO<sub>2</sub>を形成し、解離したメチル基は残りの酸素と反応してCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oを系外に排出する。この光酸化の過程で石英ガラスは接着し、接着層は無機ガラス化する。

### (2) 光酸化反応におけるCO<sub>2</sub>ガス効果の解明

2007年度の研究で、空気雰囲気中でシリコンオイルに真空紫外光を照射すると、空気の流れや、試料と光源との僅かな距離差により光酸化に大きな差異が生ずる。しかし、CO<sub>2</sub>雰囲気では酸化反応時間が極端に短縮でき、かつ、接着強度が高くなることを見出した。この知見は、「紫外線を透過し高温にも耐性を持つ接着方法」に、新たな概念を提供できる可能性があるため、光酸化反応におけるCO<sub>2</sub>ガスによる光酸化メカニズムについて検討する。

### (3) 試料表面のプラズマ照射(前処理)効果

固体表面にプラズマ処理を施すと、試料表面の水に対する濡れ性が向上する。しかし、空気中に放置すると、処理効果は減退する。さらに、処理面を物理的に拭くと濡れ性は元に戻る。そこで、シリコンオイル塗布前に、試料表面に弱いプラズマ処理を施し、固体材料表面の化学種含有液状化合物薄層に対する密着度を向上させた後、シリコンオイルを塗布し、酸素雰囲気中で紫外光を照射する。

### (4) 照射装置試作

試料表面にシリコンオイルをスピンコートして薄液層を形成する。この状態で、上方からXe<sub>2</sub>エキシマランプを投影露光すると、雰囲気中の酸素が光励起され、かつ、シリコンオイルの成分であるメチル基(CH<sub>3</sub>)が解離し、試料基板上の露光部のみにSiO<sub>2</sub>膜が形成される。ここでは、石英ガラスと各種試料間にシリコンオイルを塗布し、各種酸化反応ガス雰囲気中で紫外線照射が可能なる高耐圧容器を設計試作する。

#### (5) 接着層の耐熱試験

各種接着試料に各エネルギー密度の Nd<sup>+</sup>YAG レーザー光を、空气中で照射しながら顕微鏡で照射部の変化を観察した後、透過顕微鏡観察により、レーザーエネルギー密度と破壊の関係を明らかにする。各エネルギー密度の Nd<sup>+</sup>YAG レーザー(波長1060~530nm)によるレーザーエネルギー密度と破壊の関係を明らかにし、レーザー耐性に優れた接着を実現する。

### 4. 研究成果

#### (1) 高強度・耐熱・高紫外線透過接着達成

シリコンオイルの側鎖に在るメチル基(-CH<sub>3</sub>)を紫外線照射によって遊離させ、そこに酸素を置換すれば石英と同じ構造に変わり、有機シリコンオイルが無機ガラスに変質することにより、従来不可能であった 200nm 以下の紫外線を透過し、熱歪皆無、熱加工無し、焼き鈍し不用の接着を室温で可能ならしめた。これにより、レーザー透過窓、レンズ、プリズム、固体レーザー、あるいは天文台や宇宙で用いる大口径ハニカム構造ミラー、レーザー核融合で用いるミラー等の軽量化、熱ひずみ皆無化が出来る。とくに最近脚光を浴びてきたのが、このシリコンオイルの光酸化技術を、極薄石英膜形成(コーティング)にも積極的に利用しようという機運である。

#### (2) 宇宙開発に欠かせない技術

NASAはこの技術に着目し、スペースシャトルのハッブル望遠鏡のミラーや太陽電池パネルが黒化して天体からの光受光効率が低下する原因の解決策にしようとしている。すなわち、宇宙などの真空紫外線が照射されている真空中で、人工衛星搭載太陽電池パネルを支持するためのシリコンゴム接着剤やコーティング膜から蒸発した低分子シロキサンが太陽電池受光面や天体望遠鏡ミラーなどの光学面に吸着し、受光面の表面に黒化現象が現れるものと本研究代表者は結論付けた。

#### (3) 再生可能エネルギー開発に重要な技術

代替エネルギーとしての太陽電池パネルの耐水性・電気絶縁性透明保護膜として、あるいは、洋上風力発電用風車翼(プロペラ)の塩害対策や北極地域における風力発電用風車翼の氷結防止策、あるいは温度差発電に供するペルチェ素子やゼーベック素子などの半導体熱電素子モジュールなどの耐水性、耐湿性、耐塩性あるいは耐熱性を有する保護膜として期待されている。

#### (4) 光酸化反応メカニズムと試料表面のプラズマ照射(前処理)効果の解明

光学保護膜の要求条件は、高透過率、高硬度、耐レーザー強度、耐湿性である。これらの条件を全て満たすためには、如何に試料表面上に活性酸素を吸着させて置くかが重要である。そこで予め試料表面を酸素雰囲気中でエキシマランプ照射を行った場合と、

希釈酸素雰囲気中でプラズマ照射を行った場合の石英ガラス試料表面と水およびシリコンオイルの接触角を測定した(図1)。未処理石英ガラスの水との接触角は28度、シリコンオイルとの接触角は5度であったが、空气中でXe2エキシマランプを5分照射すると接触角は5度と下がる。一方プラズマ照射では3分で接触角は0度まで下がった。同様な実験をシリコンオイルについて行ったところプラズマ2分照射で0度になった。この実験結果から基板の前処理として希薄酸素雰囲気中でプラズマ照射を2分間行うことにした。ランプ照射時間に伴って、屈折率は未照射では  $n_d=1.39$  であったが、2時間照射で  $n_d=1.43$  に増大し、モース硬度は未照射では0から徐々に硬くなり、120分照射でアパタイトに匹敵する5と成った。また透過率は193nmで未照射では53%であったが、照射時間の増加と共に上昇し、40分照射で80%に達し、有機シリコンオイルが無機ガラスに変化した証明である。

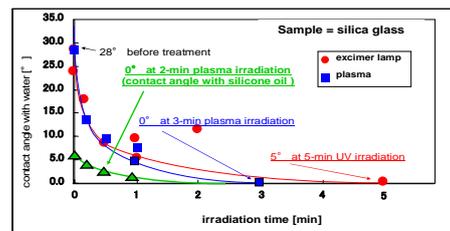


図1 前処理として試料に、紫外線照あるいは酸素プラズマ照射した後の接触角(水及びシリコンオイル)

#### (5) 光照射装置試作と光酸化反応におけるCO<sub>2</sub>ガス効果の解明

真空紫外光でシリコンオイルの光酸化反応が進行すると、200nm 付近の光の透過率が高く成る現象を利用する、光酸化反応監視装置(図2)を設計試作し、光酸化反応に欠かせない“酸化剤”の供給過不足を定量化し、かつ、酸化剤としてのCO<sub>2</sub>の供給量と光照射時間を特定し、光酸化の高効率化を実現した。図3に示すように、光反応雰囲気空気を空気からCO<sub>2</sub>にする代える効果は大きく、ランプ照射



図2 光酸化反応監視装置

15分で、シリコンオイルの粘性が500csの場合、空気雰囲気では34.25kgf/cm<sup>2</sup>であるが、CO<sub>2</sub>をフローすると102.11 kgf/cm<sup>2</sup>と3倍の接着強度が得られた。1万csでは空気雰囲気では18kgf/cm<sup>2</sup>であるが、CO<sub>2</sub>雰囲気では87.34kgf/cm<sup>2</sup>と共にCO<sub>2</sub>が効果があることが明らかになった。

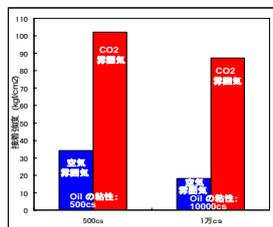


図3 酸化剤が空気(青)とCO<sub>2</sub>(赤)の場合の接着強度比較

#### (6) 接着層の耐熱試験

図4にシリコン接着剤、エポキシ接着剤及びシリコンオイル光接着における耐熱性試験結果を示す。硬化時間1日のシリコン接着剤とエポキシ樹脂は、それぞれ18.6 kgf/cm<sup>2</sup>、110 kgf/cm<sup>2</sup>であるのに対し、ランプの照射時間60minで光酸化させたシリコンオイルでは180 kgf/cm<sup>2</sup>を得る事ができた。耐熱性では、光酸化シリコンオイルを用いた石英ガラス同士の接着における現在の剥離温度は800℃である。しかし、従来のエポキシ樹脂接着剤は150℃で剥離することから、一般的な接着剤より本接着法の耐熱性は優れている。

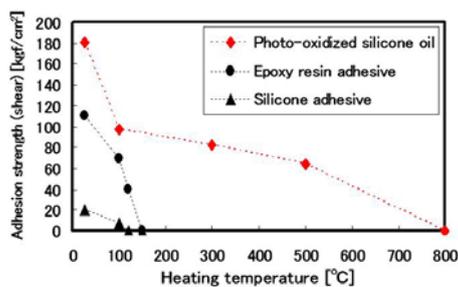


図4 各種接着剤の引っ張り強度と耐熱性

レーザー耐性試験結果については、図5に示すように、レーザー耐力107 J/cm<sup>2</sup>である石英ガラス表面にシリコンオイル光酸化膜をコーティングした場合のNd・YAGレーザーの基本波( $\omega$ )での耐性は、72 J/cm<sup>2</sup>であるのに対し、 $2\omega$ では113 J/cm<sup>2</sup>と高い。この照射波長の違いによるレーザー耐性の極端な違いの理由を、膜中に未反応のメチル基(CH<sub>3</sub>)が微量残留しているものとする。ただし、 $\omega$ でのレーザー耐力が基板と同値であることから、この波長での吸収帯は無く、膜中に炭素の遊離は無いものと結論付ける。

一方非線形光学結晶KDP基板表面でのレーザー耐力は $\omega$ で32.0 J/cm<sup>2</sup>、 $2\omega$ では47.5 J/cm<sup>2</sup>であるが、100nmの膜形成後でも $\omega$ で32.5 J/cm<sup>2</sup>、 $2\omega$ では52.0 J/cm<sup>2</sup>であり、合成石英の耐性の約1/3であることもKDP基板の研磨痕に原因する。さらに各種基板表面とそれらの基板にシリコンオイル光酸化膜を形成した場合のレーザー耐性テストを試みると、基板のレーザー耐性が膜に影響することが明らかであり、KDP上にコーティングした膜が弱いのではなく、KDP表面自身の持つレーザー耐力によるもので、当該膜は石英基板上の膜と同様、レーザー耐性は強い。

試料	膜厚 (nm)	レーザー耐性 (J/cm <sup>2</sup> /10nm)			
		$\omega$		$2\omega$	
		average fluence	peak fluence	average fluence	peak fluence
各種基板					
石英ガラス(マスク用基板)		56.5	113.0	56.3	112.5
石英ガラス(研磨用基板)		16.7	32.0	45.0	90.0
KDP(基板)		15.3	30.5	23.7	47.5
フッ化カルシウム(基板)		32.5	65.0	25.9	52.0
フッ化マグネシウム(基板)				46.3	92.0
酸化膜					
シリコンオイル光酸化膜(石英基板)	100	35.9	71.8	53.4	106.8
シリコンオイル光酸化膜(石英基板)	300	35.1	70.3	56.1	112.1
シリコンオイル光酸化膜(KDP基板)	100	16.3	32.5	20.4	52.0

図5 シリコンオイル光酸化膜と各種基板のレーザー耐性試験

( $\omega = 1.06 \mu\text{m}$ ,  $2\omega = 0.53 \mu\text{m}$ )

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計13件)

- ① M. Murahara, K. Seki, Y. Sato and E. Fujiwara, "On-site sodium metal production with electrolysis by offshore wind or solar cell power generation for hydrogen generation", 2009 MRS Fall Meeting Symposium W proc. 1216W03-35(6ページ) (On line Proc.) (2010) 査読有
- ② M. Murahara and K. Seki, "On-Site Sodium Production with Seawater Electrolysis as an Alternative Energy for Oil by Offshore Wind Power Generation", IEEE Energy 2030 Conference, IEEE, ISBN: 978-1-4244-2850-2, Accession No.: 10472272 (2009) 査読有
- ③ M. Murahara, Y. Sato, T. Funatsu, T. Jitsuno, and Y. Okamoto, "Formation of photo-oxidized protective thin film with waterproof and highpower laser tolerance properties", Proceedings of SPIE, Vol. 7132, 71320K-1-8 (2009) 査読有
- ④ Y. Sato, K. Kawai, M. Sasoh, H. Ozaki, T. Ohki, H. Shiota, and M. Murahara, "Electro-Wetting and ArF Excimer Laser Induced Photochemical Surface Modification of Hydrophilic and Hydrophobic Micro-Domain Structure on IOL Surface for Blocking after Cataract", Mat. Res. Soc. Proc., Vol. 1140, HH05-05 (2009) 査読有
- ⑤ 村原正隆, "紫外線レーザーによる光表面改質 <レーザーでプラスチック表面の分子を

入れ替える>”, 光アライアンス 19巻,1月号 6-10頁 (2008)

- ⑥ M. Murahara, Forum on Public Policy: A Journal of the Oxford Round Table, Summer 2008 edition: Environment, p1-9 (2008), <http://www.forumonpublicpolicy.com/summer08papers/envsum08.html> (On line journal) (2008) 査読有
- ⑦ Y. Sato, K. Kawai, M. Sasoh, H. Ozaki, T. Ohki, H. Shiota, and M. Murahara, “VUV-photon induced Formation of Hydrophilic and Hydrophobic Micro Domains Structure on Intraocular Lens Surface for Blocking after Cataract”, Mat. Res.Soc.Proc., Vol.1054, FF05-18 (2008) 査読有
- ⑧ T.Funatsu, Y. Sato, Y. Okamoto, and M. Murahara, “New method of photochemical adhesion of fused silica glasses by using Xe2 excimer lamp” Mat. Res. Soc. Proc. Vol.1054, FF-31(2008) 査読有
- ⑨ 村原正隆, “レーザーを用いた光表面改質” OPTRONICS Vol.312,12月号,84-89(2007)
- ⑩ Masataka Murahara, “Photo-oxidation adhesion of a calcium fluoride thin plate onto optical elements with silicone oil for high power laser tolerance in water”, NASA Goddard Space Flight Center Workshop, Code 546, Proceedings CD-ROM (August 1, 2007)
- ⑪ Masataka Murahara and Yuji Sato, “Photochemical micro-pattern substitution of functional groups for protein absorbance control”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. (2007) 査読有
- ⑫ Masataka Murahara, Takayuki Funatsu, and Yoshiaki Okamoto, “Photochemical Adhesion of Fused Silica Optical Elements with No Adhesive Strain”, Proceeding of SPIE, Vol.6403, 6403-1 (2007) 査読有
- ⑬ 村原正隆, “エキシマランプを用いた石英ガラスの室温接着とコーティング”, セラミックス, Vol.41 440-443 (2006) 査読有

[学会発表] (計9件)

- ① M. Murahara, K.Seki, Y.Sato, and E.Fujiwara, “On-site sodium metal production with electrolysis by offshore wind or solar cell power generation for hydrogen generation”, 2009 MRS Fall Meeting Symposium W (2009/11/30))
- ② M. Murahara, “Polymer Coating Surface Change into Ceramic Layer <Photo oxidized Silicone Oil Layer for High Temperature and High Electric Insulation Resistance>”, 6<sup>th</sup> International Symposium on Polyimides and Other High Temperature Polymers, Florida Institute of Technology (2009/11/9)
- ③ M. Murahara, Y. Sato, T.Funatsu, T.Jitsuno, and Y.Okamoto, “Heat and high electric insulation resistance protective coating of solar cell and thermoelectric element for offshore solar power

generation, 41th Annual Laser Damage Symposium SPIE (2009/9/21)

- ④ Masataka Murahara, “Photo-oxidized Silicone Oil for High Power Laser Tolerance and High Temperature Resistance”, NASA 2009 Contamination, Coatings, and Materials Workshop, NASA Goddard Space Flight Center (2009/7/21)
- ⑤ M. Murahara and K.Seki, “On-Site Sodium Production with Seawater Electrolysis as an Alternative Energy for Oil by Offshore Wind Power Generation”, IEEE Energy 2030, Atlanta (2008/11/17)
- ⑥ M. Murahara, Y. Sato, T.Funatsu, and Y.Okamoto, “Formation of a photo-oxidized protective thin film with waterproof and high-power laser tolerance properties”, 40th Annual Laser Damage Symposium SPIE (2008/9/21)
- ⑦ M. Murahara, “Wind Power and Seawater, Save Corn from Ethanol Production <Marine resources recovery and offshore integrated plant for sodium fuel, fresh water, ethanol, vegetable, and fish production with wind energy and seawater>” Oxford Round Table, (2008/8/12)
- ⑧ M. Murahara, Y. Sato, T.Funatsu, and Y.Okamoto, “Adhesion of a halogenated plate to optical elements providing antireflection and thermal resistance properties for high power laser”, 39th Annual Laser Damage Symposium SPIE (2007/9/24)
- ⑨ Masataka Murahara, “Photo-oxidation Adhesion of a Calcium Fluoride Thin Plate onto Optical Elements with Silicone Oil for High Power Laser Tolerance in Water”, NASA 2007 Contamination, Coatings, and Materials Workshop, Maryland Sheraton Columbia (2007/7/18)

[図書] (計2件)

- ① Masataka Murahara (19章 担当) 他39名、監修: Ruth A. Reck, “Climate Change and Sustainable Development” Linton Atlantic Books, Ltd., 215-221 (2010)
- ② 村原正隆 他19名 (分担), “光学ガラスレンズの設計・成型加工ノウハウ集”, 株式会社 技術情報協会、3-11 (2007)

[産業財産権]

○出願状況 (計4件)

名称: 透明光酸化層薄膜形成方法

発明者: 村原正隆、佐藤雄二

権利者: (株)エム光・エネルギー開発研究所

種類: 特許

番号: 特願 2009-256644

出願年月日: 2009年11月10日

国内外の別: 国内

名称：洋上電解・エタノール・野菜・魚工場  
発明者：村原正隆  
権利者：榊エム光・エネルギー開発研究所  
種類：特許  
番号：PCT/JP2008/058500, W02008/142995  
出願年月日：2008年5月7日  
国内外の別：国際

名称：光学部品の接着方法及び素子製作装置  
発明者：村原正隆  
権利者：東京工業大学  
種類：特許  
番号：特願 2007-192117  
出願年月日：2007年7月24日  
国内外の別：国内

名称：白色光励起レーザー装置  
発明者：村原正隆、村原正秀、小川公一、岡本義昭  
権利者：岡本光学、村原正隆、村原正秀  
種類：特許  
番号：特願 2007-046478  
出願年月日：2007年2月27日  
国内外の別：国内

○取得状況（計6件）

名称：光学部品の研磨方法  
発明者：村原正隆  
権利者：榊エム光・エネルギー開発研究所  
種類：特許  
番号：第 4399550 号  
取得年月日：2009年11月6日  
国内外の別：国内

名称：シリコンウエハの研磨方法  
発明者：村原正隆  
権利者：榊エム光・エネルギー開発研究所  
種類：特許  
番号：第 4355799 号  
取得年月日：2009年8月14日  
国内外の別：国内

名称：たんぱく質細胞非付着性眼内レンズの  
製作方法  
発明者：村原正隆、谷澤克也、佐藤雄二  
権利者：村原正隆  
種類：特許  
番号：第 4322028 号  
取得年月日：2009年6月12日  
国内外の別：国内

名称：エッチング方法  
発明者：村原正隆、森崇、長谷川浩一  
権利者：村原正隆  
種類：特許  
番号：第 4250820 号

取得年月日：2009年1月30日  
国内外の別：国内  
名称：エッチング方法  
発明者：村原正隆、森崇、飯塚仁志、広部浩  
権利者：村原正隆  
種類：特許  
番号：第 417万 4610 号  
取得年月日：2008年8月29日  
国内外の別：国内

名称：銅層を有するポリイミド基板の製造方法  
発明者：村原正隆、富田雅明、村原正秀  
権利者：村原正隆  
種類：特許  
番号：第 4097803 号  
取得年月日：2008年3月21日  
国内外の別：国内

〔その他〕

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
村原 正隆(MURAHARA MASATAKA)  
東京工業大学・イノベーション研究推進体・  
特任教授  
研究者番号：40166301

(2) 研究分担者  
吉田 國雄(YOSHIDA KUNIO)  
東京工業大学・イノベーション研究推進体・  
特任教授  
研究者番号：20029338

内田 成明(UCHIDA NARIAKI)  
東京工業大学・イノベーション研究推進体・  
特任教授  
研究者番号：40260177

佐藤 雄二(SATOU YUJI)  
東京工業大学・イノベーション研究推進体・  
特任助教  
研究者番号：40422547

(3) 連携研究者  
佐々木 孝友(SASAKI TAKATOMO)  
大阪大学・工学研究科フロンティア研究セン  
タ・特任教授  
研究者番号：50029237

實野 孝久(JITSUNO TAKAHISA)  
大阪大学・レーザーエネルギー研究センタ・  
教授  
研究者番号：30162811

葛生 伸(KUZUU NOBU)  
福井大学・工学(系)研究科・教授  
研究者番号：70283158