

平成21年6月22日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760040

研究課題名（和文） レーザー転写を用いた酸化物ガラス微小球のオンデマンド作製技術の開発

研究課題名（英文） Fabrication of oxide glass microsphere by laser-induced dot transfer

研究代表者

奈良崎 愛子（NARAZAKI AIKO）

独立行政法人産業技術総合研究所・研究員

研究者番号：40357687

研究成果の概要：微小球オプティクスの新奇オンデマンド作製技術の開発を目指し、独自のレーザー誘起ドット転写法を酸化物に適用した。その結果、酸化物固体原料を用いることで高い材料設計自由度を活かしつつ、任意の基板上に酸化物微細構造体をマイクロメートルスケールの位置精度でオンデマンド作製できることを実証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,600,000	0	2,600,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	210,000	3,510,000

研究分野：レーザープロセッシング、無機固体化学、光物性

科研費の分科・細目：応用光学・量子光工学

キーワード：レーザー転写、微小球、酸化物、オンデマンド作製、レーザー誘起ドット転写法、微小液滴、微細パターンニング

## 1. 研究開始当初の背景

光通信システムで処理すべき情報量は増加する一方であり、これを支えている電子デバイスの処理速度は限界に近づいている。そこで、光信号を電気信号に変換することなく、より高速な情報処理を可能にする光回路の実現とその小型化・集積化のニーズが高まっている。そのような背景のもと、小型光回路の構成部品として、微小球マイクロオプティクスに期待が集まっている。微小光学レンズとしてはもちろん、微小球光共振器としての非常に高い光の閉じ込め効果（高Q値）を積極的に利用した、低閾値レーザーや微小光スイッチ、微小光導波路など様々な応用が期待

されている。

微小球マイクロオプティクスの作製方法としては、市販のマイクロメートルサイズのポリスチレンやガラス微小球を用い、溝加工した基板上に固定する方法が一般的である。この手法では、液相法等により調製したサイズ均一性の高い微小球を用いることができるが、一方で、光回路に組み込むために位置を自在に制御し、“欲しいもの（微小球）を欲しい場所に”オンデマンド方式で配置することは未だ難しい。そこで、有機あるいは有機-無機ハイブリッド材料を原料とし、インクジェット法で微小球オプティクスを作製する手法も開発されているが、緻密な無機物

質の微小球作製には難しい面があり、材料の自由度が制限されている。

そこで、無機物質、特に優れた光学部材として多用されてきた酸化ガラスのマイクロ光学利用を実現すべく、そのオンデマンド作製技術の開発が望まれている。

## 2. 研究の目的

本研究では、レーザー転写技術を駆使することにより、酸化ガラス微小球のオンデマンド作製技術の開発を目標とした。

我々はこれまで、ナノ秒紫外パルスレーザーアブレーションにより生じる推進力を用いたレーザー転写法を活用することにより、固体原料膜（鉄シリサイド合金）からマイクロメートルスケールの微小球（図1および図2、詳しくはテラス構造を有する擬似微小球であり、以後「微小球」と略称）を各種基板上にサイズ・位置制御して堆積・固定化することに成功している。本手法によれば、固体原料を用いるため、従来開発されてきた有用性に富んだ材料および物性をもつ無機酸化ガラス光学材料を利用できる。また、これらは溶媒蒸発がないため緻密な微小球を精密にサイズ・位置制御して調製することができると期待される。さらに、ナノ秒紫外レーザーパルスのシングルショット照射により転写が起きるため、基板の長時間加熱を必要とせず熱ダメージを低減化できることから、ポリマー等各種基板上への微小球作製が実現できる。

そこで、当該レーザー転写技術を新たに酸化ガラス材料に適用することにより、酸化ガラス微小球のオンデマンド作製技術の開発に取り組んだ。

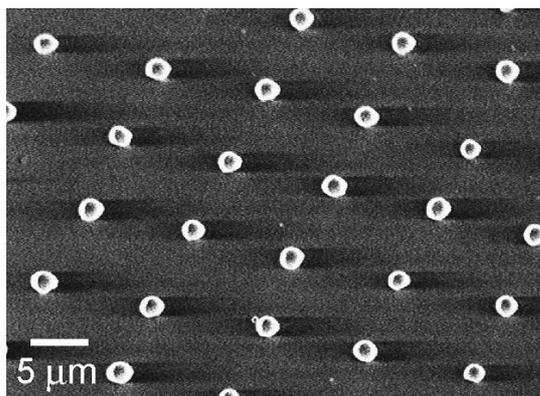


図1 石英ガラス基板にレーザー転写した鉄シリサイド( $\text{FeSi}_2$ )微小球マイクロアレイのSEM写真

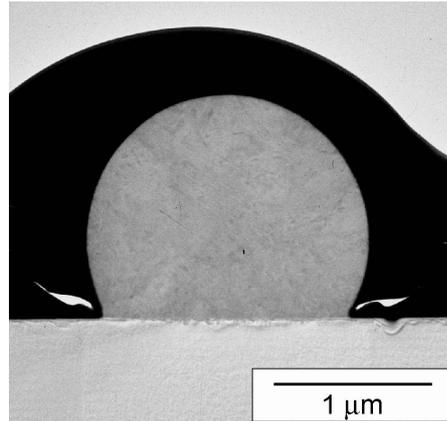


図2 鉄シリサイド微小球の断面 TEM 写真

## 3. 研究の方法

本研究では、酸化ガラス微小球のオンデマンド作製技術の開発を目指し、独自のレーザー転写技術である「レーザー誘起ドット転写法」の高度化による酸化ガラス部材への適用を図った。

具体的には、石英ガラス透明基板上に酸化ガラス膜をスパッタ法等で製膜することにより、原料膜の調製を行った。原料の選択については、転写に使用する紫外レーザー波長域で光吸収を有する点が求められるが、紫外用光学部材として多用される石英ガラスを除き、一般の光学ガラス材料はこの波長域になると光吸収を示すので問題はない。

得られた原料膜に対して、ナノ秒紫外パルスレーザー光を石英ガラス透明基板側からシングルショット照射し、対向する各種基板上に原料を転写した。図3に、紫外エキシマレーザーを光源とし、マスク縮小露光系を用いたレーザー誘起ドット転写装置を示す。本手法の特徴は、レーザー照射エリアをマイクロメートルスケールとし転写体積を減じることで、表面張力による転写部材の微小球化を利用し、照射部位と一対一で対応する微小液滴を位置制御良く基板上にパターンニング可能なことである。

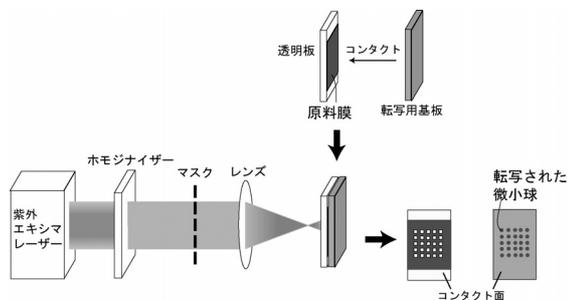


図3 レーザー誘起ドット転写法による微小球のオンデマンド作製 (エキシマレーザー/マスク縮小露光型)

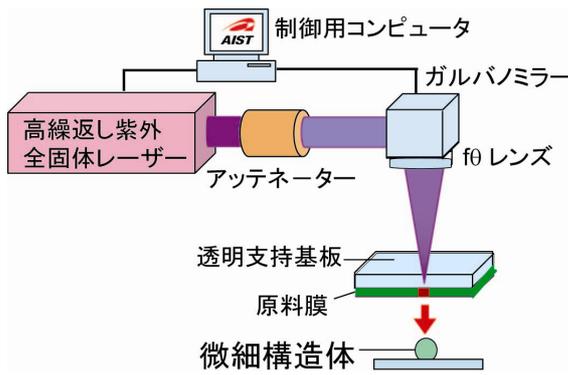


図4 レーザー誘起ドット転写装置  
(全固体レーザー/走査集光型)

また、高線返し紫外全固体レーザー(最大100 kHz)を光源とし、ガルバノミラー/fθレンズ走査集光系を用いたレーザー誘起ドット転写装置を構築し(図4)、マスクレスでの微細ドットパターンニングを実現した。さらにこの装置は、図3のシステムに比べ試料周辺のスペースの制限が少ないことを利用して、基板上堆積位置をより高精度に決定できる観察システムを導入した。

上記手法で転写作製した微細構造体については、その形状をレーザー共焦点顕微鏡ならびに走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて観察を行った。

#### 4. 研究成果

当該レーザー転写法を酸化物に新規適用した結果、酸化物の微細パターンニングに成功した。具体的には、石英ガラス透明基板を用い、その上にITO膜をスパッタリング法により室温成膜、転写用原料膜を調製した。ITOを当初の原料膜に選択した理由は、ITOのスパッタリング速度が速いため数百ナノメートルから1ミクロン程度の比較的厚い膜を短時間作製可能であり、これまで鉄シリサイド

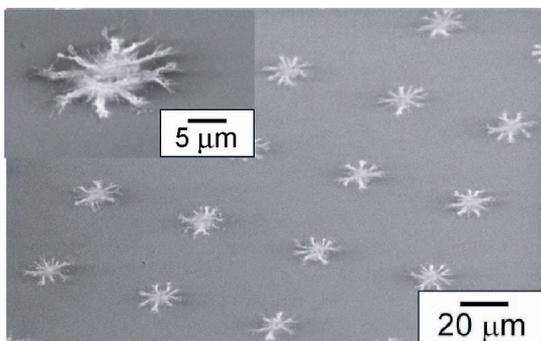


図5 ITO微細構造体マイクロアレイのSEM写真

原料膜を用いた本手法において実績のある膜厚を簡便に用意できるためである。今回新たに構築した図4の装置を使い、レーザーフルエンス等照射条件を最適化した結果、対向配置したガラス基板上へ、図5に示すマイクロメートルスケールの微細構造体の転写とそのマイクロアレイパターンニングに成功した。

次に、ITO原料膜で得られた知見をもとに、最終目的である酸化物ガラス微小球の作製を試みた。特に、ITOでは微細構造を50ミクロンアレイにパターンニングすることには成功していたが、結晶性を反映したような特殊形状を有していたため、球状の微細構造は得られていなかった。そこで、ITOに比べ非晶質化傾向を有する多成分酸化物ガラスを原料膜として新たに調製し、微細構造の球状化を検討した。具体的には、市販の白板ガラスをターゲットとし、そのパルスレーザー堆積法により多成分酸化物ガラス原料膜を成膜した。酸化物ガラスは一般にそのスパッタリング速度が小さいため、本研究においてはより高速製膜が可能なパルスレーザー堆積法を用い、数百ナノメートルから数ミクロンの膜厚を有する原料膜を堆積させた。このようにして得られた原料膜に対して、透明支持板側から紫外ナノ秒レーザーパルスを集光照射することで、対向配置した基板上に微細構造を堆積させた。その結果、図6に示すように、原料膜厚の不均一性に起因するとみられる転写位置精度の制御性の低下が一部見られたが、ITOでは難しかった半球状の微細構造の転写を確認することに成功した。

以上の成果より、酸化物固体原料を用いることで高い材料設計自由度を活かしつつ、任意の基板上に、その微細構造体をマイクロメートルスケールの精度でオンデマンドに堆積できることを実証できた。

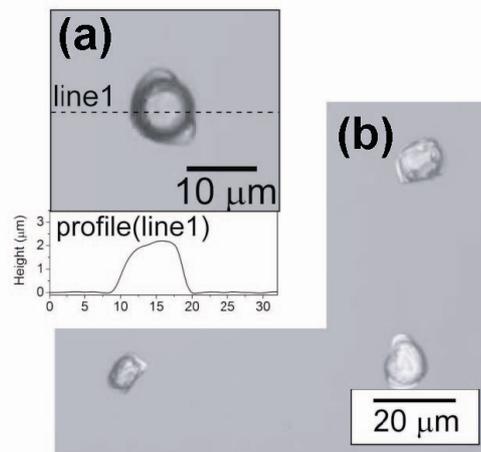


図6 レーザー誘起ドット転写法により作製した酸化物ガラス微細構造体のレーザー顕微鏡写真と断面プロファイル

今後、原料膜厚の均一化等の課題を克服することで、得られる転写物の一層の微小球化を検討する必要がある。その上で、本手法は、従来手法では困難な酸化物ガラス微小球をはじめ、高い材料物性の自由度を有しつつも、精密にサイズ・位置制御が可能な微小球オプティクスのオンデマンド作製技術を提供できると考えている。よって、微小球マイクロオプティクスの自在な配置による小型光回路の開発といった情報通信分野への貢献が期待され、またポリマー等のフレキシブル基板への微小球固定化によるウェアラブル光回路デバイスの創製等、革新的な材料創製プロセスとして産業ならびに学術発展に広く寄与することが期待される。

## 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2件)

- ① 奈良崎愛子、黒崎諒三、佐藤正健、川口喜三、新納弘之、Nano- and Microdot Array Formation of FeSi<sub>2</sub> by Nanosecond Excimer Laser-Induced Forward Transfer、Applied Physics Express、1、057001-1~057001-3、2008、査読有
- ② 奈良崎愛子、佐藤正健、黒崎諒三、川口喜三、新納弘之、Nano- and Microdot Array Formation by Laser-Induced Dot Transfer、Applied Surface Science、印刷中、査読有

[学会発表] (計2件)

- ① 奈良崎愛子、Nano- and Microdot Array Formation by Laser-Induced Dot Transfer、第6回光励起プロセスと応用に関する国際会議 (ICPEPA6)、2008年9月10日、北海道 札幌市
- ② 奈良崎愛子、DPSS レーザーを用いたレーザー誘起ドット転写法による微細パターン形成、2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会、2007年9月5日、北海道 札幌市

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

奈良崎 愛子 (NARAZAKI AIKO)

独立行政法人産業技術総合研究所・研究員  
研究者番号：40357687