

# 新しい微細パターン転写技術

ミクロン以下の微細構造を効率よく作製するために、金型（モールド）を使って微細パターンを複製する、ナノインプリント技術が注目されています。ナノ電極リソグラフィは電気化学反応を利用する新しいナノインプリント技術で、化学的にパターンを転写する「ケミカル・ナノインプリント」の1つといえるものです。本稿では、その特徴や新しいモールドの検討、およびナノインプリント装置の開発について紹介します。

よこお あつし<sup>†1</sup> なまつ ひでお<sup>†2</sup>  
横尾 篤 / 生津 英夫

NTT物性科学基礎研究所<sup>†1</sup>  
NTTアドバンステクノロジー<sup>†2</sup>

## ナノインプリント技術への期待

光デバイスや電子デバイス、また、記録媒体などにおいて、ミクロン以下の微細構造を作製することが要求されるようになってきました。このような微細構造を作製するためには、電子ビームを使ったEBリソグラフィや、非常に波長の短い光を使って露光するEUVリソグラフィ、X線を使ったX線リソグラフィが必要となります。しかしながら、これらの装置は大型で、装置コストがかさむことから、より簡便にミクロン以下の微細構造を作製できる技術が求められていました。

ナノインプリント技術は、目的のパターンを持った金型（モールド）を、刻印のように対象物に押し付けることによってパターンを複製する微細パターン作製技術です。EBリソグラフィなどを使ってモールドをつくってしまえば、比較的簡単な装置で、繰り返し、同じパターンを複製することができるため、ミクロン以下の構造を持つデバイスや、記録媒体を作製するためのパターンニング技術として期待されています。

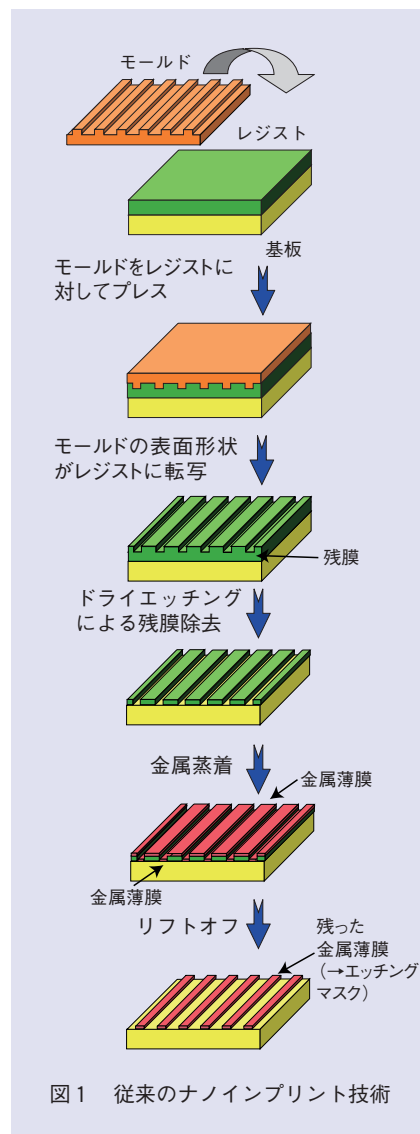
NTT物性科学基礎研究所では、ナノインプリント技術の応用とともに、さらに便利な微細構造作製技術に発展

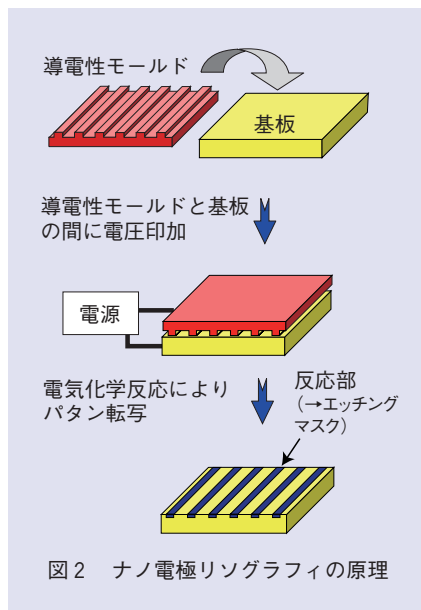
させるべく、手法そのものの研究を行っています。ナノ電極リソグラフィは従来のナノインプリント技術と、電気化学反応を組み合わせることによって生まれた新しいナノインプリント技術で、化学的にパターンを転写する「ケミカル・ナノインプリント」の1つといえるものです。

## ナノ電極リソグラフィの原理

まず、ナノ電極リソグラフィのパターン転写原理を、従来のナノインプリント技術と比較しながら説明します。図1は従来のナノインプリント技術<sup>(1)</sup>であるナノインプリントリソグラフィの原理を示したものです。ナノインプリントリソグラフィで用いられるモールドの表面には、EBリソグラフィとエッチングプロセスによって凹凸パターンが形成されています。微細構造を作製したい基板の表面に、レジストを塗布し、レジスト層に対して、モールドの凹凸パターンを押し付けることにより、レジスト層に凹凸パターンが転写されます。パターンの凹部に残った残膜をドライエッチングなどにより除去して基板表面を露出させた後に、金属を蒸着し、さらに、レジストを溶解できる溶媒中で洗浄し、

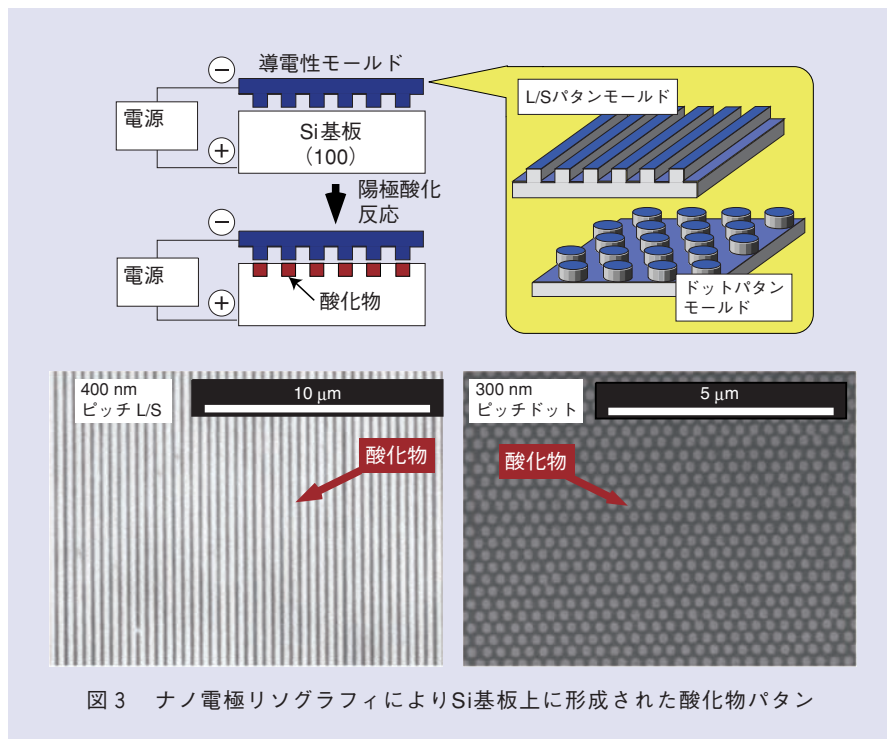
基板に直接蒸着された金属のみを残すリフトオフ工程を行います。基板表面





に残った金属は、モールド上の凹凸パターンを反映したものとなっており、基板をエッチング加工するためのマスクとして用いることができます。従来のナノインプリント技術は、この例のように、モールドを使って対象物表面に凹凸パターンを物理的に形成することでパターンを複製することが特徴です。

一方、ナノ電極リソグラフィ<sup>(2)</sup>では、導電性のモールドを用います。図2に示すように、導電性モールドと半導体や金属などの対象基板を接触させ、大気中で、両者の間に電圧を印加します。図2における導電性モールドでは、モールド凸部のみが対象基板に接触しているため、モールド凸部と対象基板との接触部分において電流が流れることになります。大気中で、金属や半導体など酸化されやすい材料をプラス側として電流を流したときには、金属や半導体表面で、陽極酸化反応と呼ばれる電気化学反応が起き、電流が流れた部分が酸化することが知られています。ナノ電極リソグラフィにおいても、同様の電気化学反応によって、対象基板表面が酸化されます。上述したように、電流が流れる場所は導



電性モールドの凸部のみですから、対象基板表面に形成される酸化物パターンは、導電性モールドのパターンを反映したものとなります。図3はナノ電極リソグラフィによってシリコン (Si) 基板表面に形成された酸化物パターンの電子顕微鏡 (SEM) 写真です。

ナノ電極リソグラフィは、従来のナノインプリント技術と異なり、対象物表面に凹凸形状を形成せず、化学的に性質の異なる物質を生成させることによってパターンを複製することからケミカル・ナノインプリントの1つであるといえ、Siのほかにも、アルミやガリウム砒素 (GaAs) などの材料に対するパターン形成が確認されています。

### ナノ電極リソグラフィの特徴

ナノ電極リソグラフィでは、電気化学反応を用いて、酸化物パターンを基板上に直接形成することができます。この酸化物パターンは、基板をエッチング加工するためのエッチングマスクとして用いることができます。図4は本手法

を用いて形成された、ピッチ500 nmのライン・アンド・スペース (L/S) の酸化物パターンを表面に持つSi基板を、水酸化カリウム (KOH) 水溶液、もしくは、フロロカーボンガスプラズマでエッチングした後の表面です。酸化物パターンの部分はエッチングされずに、Si基板に微細構造が形成されていることがわかります。このような、「レジストレス・パターンニング」は、レジストを用いる従来のナノインプリント技術と比べて加工工程数を減らし、加工精度を向上させることが期待できます。また、従来のナノインプリント技術で問題となっていた、モールドとレジストの固着によるモールドの破壊を防ぐことができます。さらに、レジストを用いないために、パターンをつなぐことが容易であり、小面積のモールドを使って繰り返しパターンニングすることにより、大面積のパターンを得ることが期待できます。

一方、モールド作製の観点からは、従来のナノインプリント技術では、形

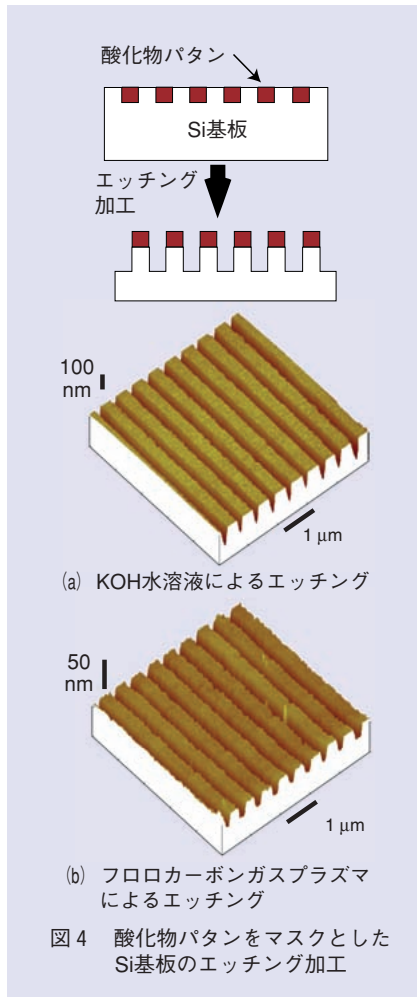
成されるパタンのコントラストを十分とるために、モールドの凹凸深さが必要であったのに対し、ナノ電極リソグラフィではモールドの凹凸深さを必

要としないため、微細パタンを持つモールドが作製しやすいという利点が期待できます。

さらに、本手法では、パターニング段階で対象物表面に凹凸形状をつくらないため、本手法を繰り返して複雑なパタンを形成する多重パターニングなどが可能となります。図5はL/Sパタンモールドによる多重パターニングの例です<sup>(3)</sup>。1回目のパタン転写で、L/Sパタンモールドを使ってSi基板表面に酸化物質を形成した後、同じL/Sパタンモールドを90度回転して2回目のパタン転写を行うことにより、Si基板表面に格子状パタンを形成することができます。本手法には、この例のように、モールドを組み合わせることによって新しいパタンを形成できるフレキシビリティがあり、目的に応じたパタンをより簡単に得ることが期待できます。

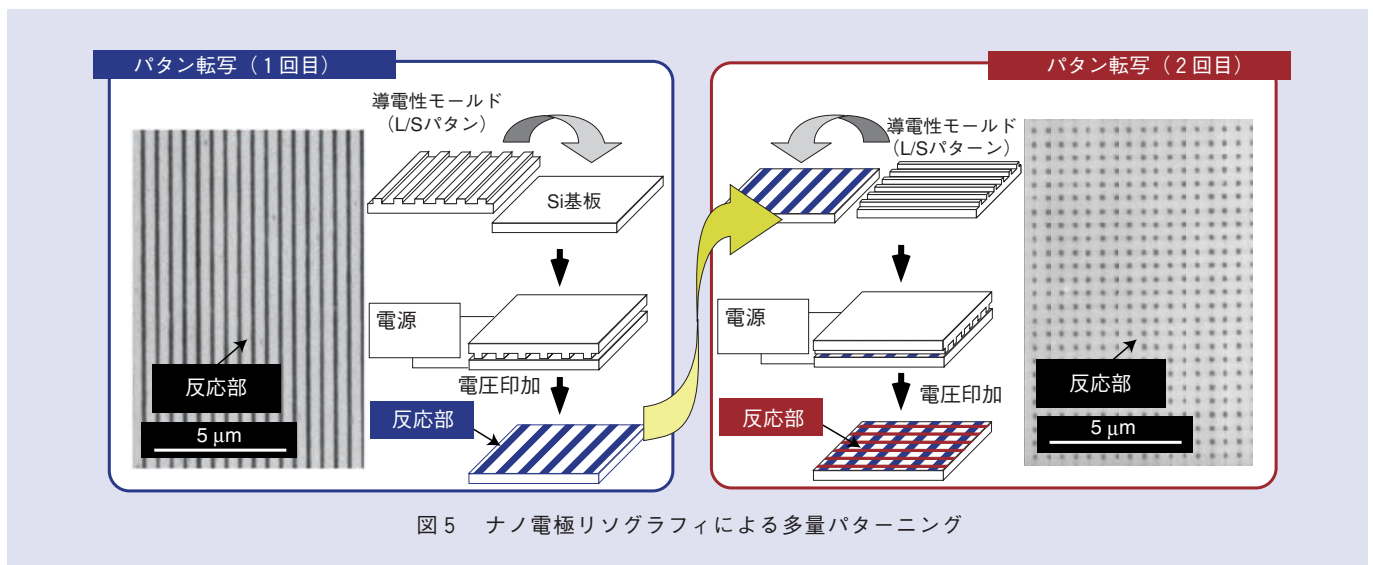
す。ここでは、本手法に適したモールド作製の検討結果について説明します<sup>(4)</sup>。

耐久性の高い導電性モールドを作製するために選ばれた材料は、SiC（炭化ケイ素）焼結体です。SiC焼結体は高い導電性と機械的強度、易加工性、平坦性を有し、導電性モールドの素材として適しています。SiC焼結体表面に化学気相成長（CVD）法により多結晶SiC層を形成することで、SiC焼結体表面にある空洞（ボイド）を埋め、さらに平滑な表面を得ることができます。以上のプロセスの結果、表面フラットネス1 nm、抵抗率 $0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下のモールド素材が得られています。図6はこの素材を使って作製した導電性モールドのSEM写真です。現在のところ、60 nm幅のラインパタンを持つ導電性モールドの作製が可能となっています。また、接触角評価の結果からSiCモールド表面の濡れ性が良好であることが示されており、表面吸着水を媒体とした陽極酸化反応をパタン転写原理とする本手法において、有効に働くことが期待されています。



### SiC による導電性モールドの作製

モールドはナノインプリント技術におけるポイントの1つです。ナノ電極リソグラフィに用いられる導電性モールドは、従来のモールドに要求される耐久性に加えて、導電性を必要とし





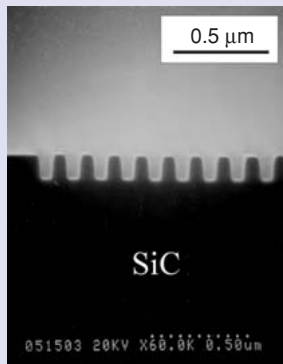
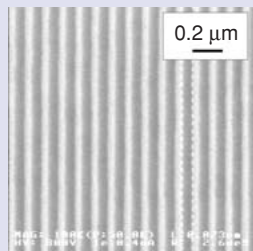


図6 SiC導電性モールド  
(上：上面 下：断面)



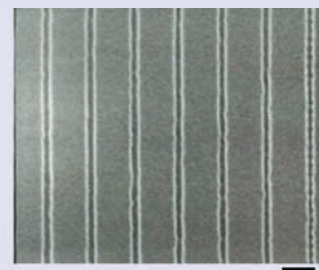
図7 開発したナノプリント装置  
「ケミカル・ナノインプリンター」

## デバイス製造のための ナノインプリント装置の開発

ナノ電極リソグラフィを実際にデバイス製造に用いるために、ナノインプリント装置の開発を行いました<sup>(4)</sup>。本手法において安定したパタン転写を行うためには、導電性モールドと基板の均一な接触、および、電気化学反応の媒体となる水分を導電性モールド表



(a) 100 nm幅ラインのパタン



(b) 100 nm幅スペースのパタン

図8 KOH溶液によるエッチング後のパタン

面に適切に吸着させることが重要です。今回開発したナノインプリント装置「ケミカル・ナノインプリンター」(図7)では、導電性モールドの各部分における圧力を調整できる機構を導入し、均一な接触が達成されるようにしました。また、雰囲気湿度と導電性モールド表面温度の制御機構を備え、導電性モールド表面の吸着水分量をコントロールできるようにしています。さらに、位置決め精度10 nmのステップ・アンド・リピート機構を有し、基板上で導電性モールドの位置を変えながら繰り返しパターンニングを行うことにより、連続した大面積パタンの形成が可能なものとなっています。図8は本機によるパタン形成とKOH水溶液によるエッチングによってSi基板上に作製された微細構造のSEM像です。现阶段において、100 nm幅ライン、および、100 nm幅スペースのパタン形成が可能であることが確認されています。

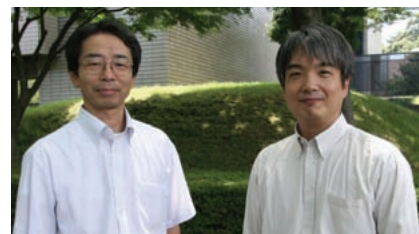
今後は、本ナノインプリント装置を用いて、パタン転写条件の詳細を検討していく予定です。

本研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託によるものです。

### 参考文献

(1) S. Chou, P. Krauss, and P. Renstrom :

- “Nanoimprint lithography,” J. Vac. Sci. Technol. B, Vol.14, No.6, pp.4129-4133, 1996.  
 (2) A. Yokoo : “Nanoelectrode Lithography,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42, L92-L94, 2003.  
 (3) A. Yokoo : “Nanoelectrode lithography and multiple patterning,” J. Vac. Sci. Technol. B, Vol.21, No. 6, pp.2966-2969, 2003.  
 (4) H. Namatsu, M. Oda, A. Yokoo, M. Fukuda, K. Irida, S. Tsurumi, and K. Komatsu : “Chemical nanoimprint lithography for step-and-repeat Si patterning,” J. Vac. Sci. Technol. B, Vol.25, No.6, p.2321, 2007.



(左から) 生津 英夫/ 横尾 篤

ナノインプリント技術を中心に、新しいパターンニング手法の開発と、手法の特性を生かした応用に取り組んでいます。ナノ電極リソグラフィでは、酸化パタンを直接形成できるために、微細構造作製の精度向上やデバイス作製プロセスの簡略化が期待できます。本稿で紹介したエッチングプロセス以外への応用も含め、本手法を発展させていきたいと考えています。

### ◆問い合わせ先

NTT物性科学基礎研究所  
量子光物性研究部  
TEL 046-240-3205  
FAX 046-240-4305  
E-mail yokoo@nttbl.jp