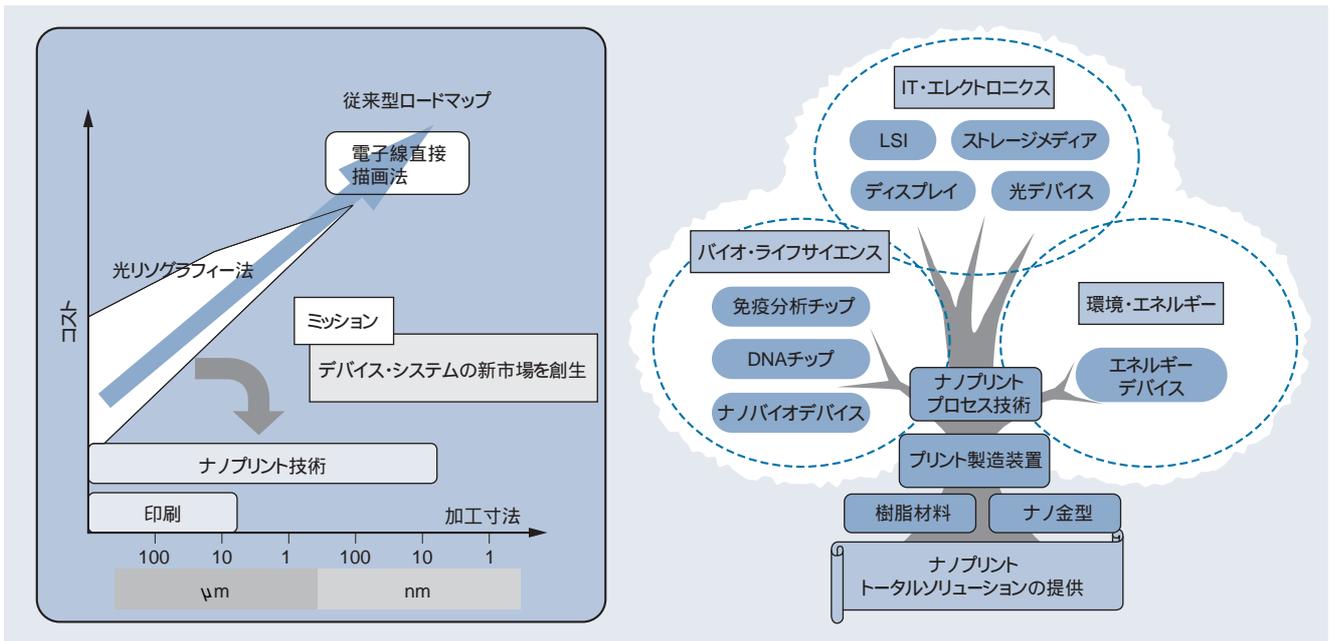


ナノプリントによる 簡便・低コストなナノ加工技術

Cost-Cutting Production Method for Nano-Scale Fabrication by Nanoprint Technology

宮内 昭浩 Akihiro Miyauchi 桑原 孝介 Kôsuke Kuwabara 山崎 隆徳 Takanori Yamasaki
 荻野 雅彦 Masahiko Ogino 根本 雅文 Masafumi Nemoto



注：略語説明 IT(Information Technology), DNA(デオキシリボ核酸)

ナノプリント技術の位置づけと応用展開

従来の微細化技術では、微細化に伴って加工コストが増大してしまう。ナノプリント技術は、ナノスケールの微細構造をミクロンレベルから一括転写する新しい成型技術である。日立グループは、ナノプリント技術の適用による製品の高性能化や新市場の創生を、各種産業分野へ展開中である。

ナノプリント技術は、微細な金型を樹脂薄膜に押し当て、金型のパターンを樹脂薄膜へ転写する新しい製造技術である。従来の微細加工には多大な設備投資が必要であり、半導体やディスプレイ産業のような巨大産業にだけ適用されてきた。ナノプリント技術は、微細加工を簡便・低コストに実現でき、ナノスケールの構造体をごく簡単に形成することを可能とする。そのため、今後、各種の産業分野への展開が期待されている。

日立グループは、世界最大の転写面積を実現しており、特に、アスペクト比の大きいナノピラー(ナノスケールの柱状構造体)の形成プロセスに特徴がある。ナノプリントでは、樹脂材料やナノスケールの金型、プレス装置など、総合的な技術開発が必要となる。日立グループは、ナノプリントを総合的に開発、サポートできる数少ない企業グループとして、ナノプリント技術によるさまざまなソリューションを提案している。

1 はじめに

半導体産業に代表されるように、微細加工技術は電子デバイスの集積化や高機能化を可能とし、システムの高性能化に欠かせない技術体系となっている。しかし、例えばミクロン

オーダー以下の加工の際には、異物のないクリーンな環境下で振動を排除し、温度を一定に保つなど、物理的なじょう乱を避けることが必要となり、加工には膨大なコストを要する。そのため、最先端の微細加工技術を適用できる産業分野は、半導体や液晶ディスプレイのように大規模な市場を形成している産業に限定されている。

近年,米国を中心に μ CP(Micro-Contact Print),MIMIC(毛細管マイクロモールド),ディップペンリソグラフィなど,ナノ構造を簡便に形成できる新しい製造技術が報告されている^{1),2)}。これらのナノ加工技術はソフトリソグラフィ技術と総称され¹⁾,日米欧で活発に研究開発されている。ナノプリント技術は原理が単純であり,また研究開発用の設備も市販され,ソフトリソグラフィ技術の中で最も早く実用化されるものと期待できる。

ここでは,ナノ構造形成技術のうち,簡便・低コストなナノ加工技術であるナノプリント技術について述べる。

2 ナノプリント技術

ナノプリント技術の基本原理は,ナノスケールの凹凸パターンを形成したナノ金型を樹脂薄膜が塗布された基板に押し当て,樹脂薄膜の表面に凹凸パターンを転写することである。一般にナノインプリント技術と呼ばれる方法では,ナノ金型の凹凸形状を等倍転写する。一方,後述する高アスペクト比ナノプリント技術では,ナノ金型の凹部の深さより高い構造体を形成する。ここでは,ナノインプリントと高アスペクト比ナノプリントを総称してナノプリントと呼ぶ。

ナノプリントの原理を図1に示す。まず,ガラスやシリコン製の基板の上に,樹脂薄膜をスピコート法などで塗布する。次に,樹脂薄膜をガラス転移温度,例えばPMMA(Poly-methylmethacrylate)の場合は約110℃以上に加熱した後,軟らかくなった樹脂薄膜にナノ金型を押し当てる。押し当てる際の圧力は,一般に数メガパスカル程度である。その後,ナノ金型を樹脂薄膜からはく離する。以上の工程によって,樹脂薄膜の表面にナノ金型表面のパターンが転写される。なお,転写工程において熱エネルギーを使うのではなく,例えば石英ガラスでできた透明なナノ金型を用い,プレス中に紫外線を樹脂に照射することにより,樹脂を硬化させる手法もある³⁾。

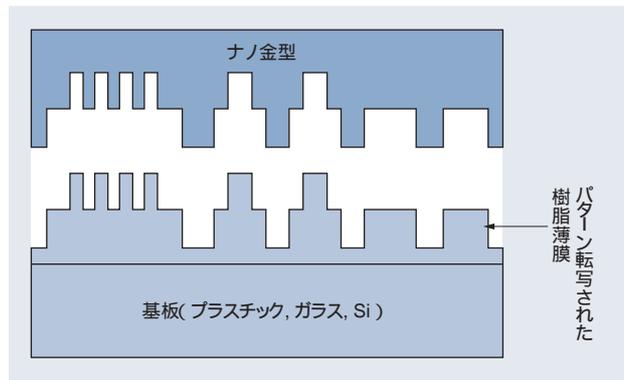


図1 ナノプリントの原理

ナノプリントでは,ガラスやシリコン製の基板の上に形成した樹脂薄膜に,微細なパターンを掘り込んだナノ金型を押し当てることで,微細パターンを転写する。

3 ナノプリント技術で形成した微細構造

3.1 低アスペクト比構造

ナノプリント技術を用いて形成した微細構造の例を図2に示す。この例では,電子線描画技術で作製したナノ金型によって,直径70 nm程度の樹脂製ドットパターンを配列した。この樹脂はドライエッチング加工時のマスクとなるため,樹脂膜の下のガラス基板の加工が可能である。電子線描画技術では,1枚ごとにパターンを描画することが必要なため,加工時間が長くなってしまふ。しかし,電子線描画技術でナノ金型を作製しておけば,ナノプリント技術によって基板表面に微細パターンを一括して高速に転写できるため,スループットを向上することができる。また,樹脂薄膜の成型だけでなく,アルミニウム板⁴⁾やガラス⁵⁾,シリコン基板⁶⁾などの表面へ直接,微細な構造を転写することも確認されており,この分野へのいっそうの進展が期待される。

3.2 高アスペクト比構造

従来のナノインプリント技術では,樹脂薄膜に金型の凸部を押し当てることで樹脂薄膜に凹部を形成する。そのため,アスペクト比の大きな細長い構造体を形成するためには,深く彫り込んだナノ金型を製作することが必要であった。それ

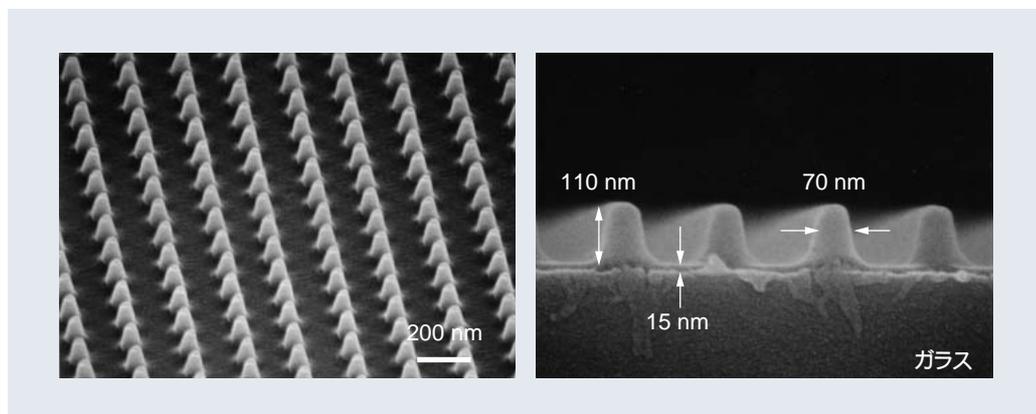


図2 微細なドットパターンの形成例

直径70 nmのドットを周期的に配列させた例を示す。微細な構造を掘り込んだナノ金型を用いることで,このような微細なパターンを大量に複写することができる。

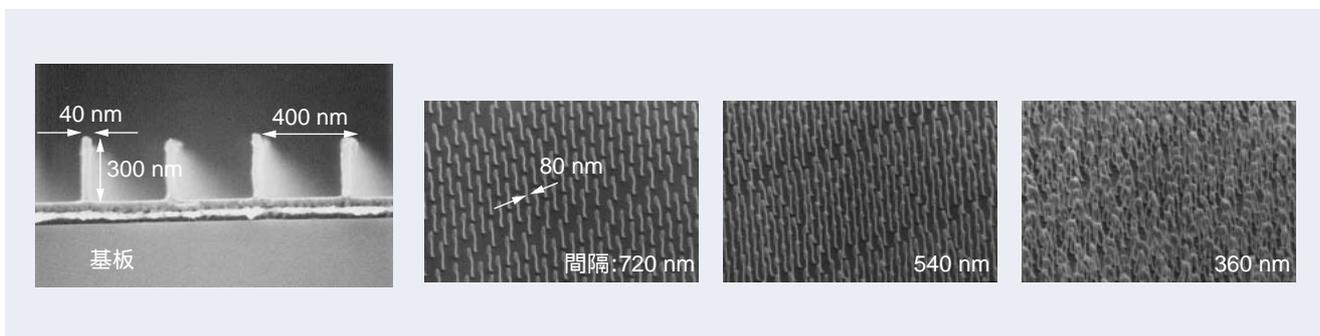


図3 ナノピラーの電子顕微鏡像

ナノプリントでは、従来にない高アスペクト比のナノピラーを形成できる。表面積が増大することや、大きさが生体高分子と同等であることなどの性質を利用して、各種電子デバイスへの展開の可能性が期待できる。

に対して、日立グループは、ナノ金型を樹脂薄膜からはく離する際に樹脂を引き伸ばすことで、ナノ金型の凹部の深さよりも高い柱状の樹脂構造体を形成できることを見いだした⁷⁾。作製したナノピラー(ナノスケール柱状構造)の電子顕微鏡写真を図3に示す。線幅40 nm、高さ300 nm(アスペクト比7.5)のナノピラーや、直径80 nm、高さ3.2 μm(アスペクト比40)のナノピラーを形成できることがわかった。これらの構造は、サイズが非常に小さいことから、従来のプラスチック成型では形成することが困難であった。しかし、ナノプリント技術を用いることにより、比較的簡便に形成することができる。

cyanate をナノピラーへ固相化した際の蛍光発光状態を図4に示す。チップの表面には、直径や間隔の異なるナノピラーがレイアウトされている。ナノピラーのレイアウトに応じて表面積を変えることで、タンパク質の固相化密度を制御することができる。チップ内で蛍光強度が異なっていることが、これを示している。また、ナノピラーの大きさは、例えばインフルエンザウイルス(80~120 nm)とほぼ同じサイズまで小さくできることから、今後、生体高分子と直接相互作用する構造体として、

4 ナノプリントビジネスの展開

4.1 免疫分析への応用

ナノプリントで形成した樹脂製ナノピラーの集合体は、従来にない構造で、さまざまな産業分野への応用展開が可能と考える。ただし、製造技術として未熟な面もあり、半導体プロセスのように非常に高い完成度が必要な分野へ展開するには、高精度な位置合わせ機構などの周辺技術の開発が不可欠である。そのため、構造体の加工精度が低くても高い機能を発現するバイオデバイスへの応用を試みた。

ナノピラーの表面へタンパク質を修飾した例として^{8),9)}、牛血清アルブミンと蛍光物質(FITC: Fluorescein Isothio-



図5 ナノインプリント装置の外観

日立製作所と株式会社日立インダストリズが共同で開発したナノインプリント装置を示す。

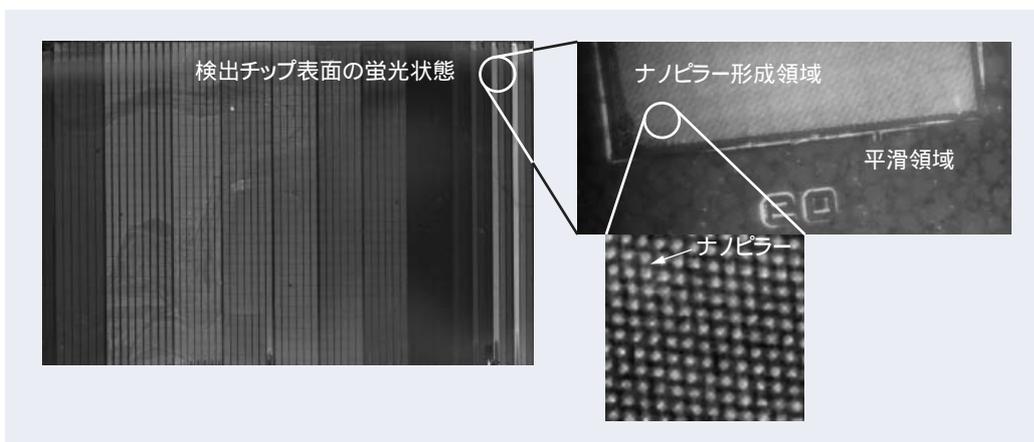


図4 ナノピラーへタンパク質を修飾した実験例

ナノピラーへ牛血清アルブミンを修飾した。アルブミンには蛍光体が結合しており、蛍光強度からタンパク質の付着状態を観察できる。1本1本のナノピラーにタンパク質が修飾していることがわかった。

このナノリターを活用できる可能性がある。

4.2 ナノインプリント装置

上述したように、ナノプリント技術によって微細な構造を簡単に形成できるほか、ナノリターのように、これまでにない微細構造を形成できることがわかった。

日立グループは、この新しい製造技術を研究開発者が手軽に試みられるように、ナノインプリント装置の販売を開始した。販売を開始したナノインプリント装置の外観を図5に示す。この装置は、ナノ金型と基板との相対位置関係を合わせるアライメントユニット、基板を搬送する搬送ユニット、およびプレスユニットなどから成る。ナノプリントでは、開発する電子デバイスによって用いられるパターンや材料が異なるため、顧客ニーズに基づいたカスタムメイドに対応できる販売体制としている。

5 おわりに

ここでは、ナノ構造形成技術として、簡便・低コストなナノ加工技術であるナノプリント技術を、等倍転写ナノインプリント技術と高アスペクト比ナノプリント技術に分けて、その原理と微細構造転写例、および応用展開例について述べた。

ナノプリント技術は最も実用化に近い製造技術であると考

える。しかし、目的とする構造体の成型には、プロセス技術の最適化やナノ金型、被転写材料をはじめとする関連技術の開発が必須であり、日立グループは、さまざまな技術開発を進めている。また、ナノプリントをナノ加工インフラストラクチャーと位置づけ、市場の創生とビジネスの拡大を図るために、ナノプリントソリューションを継続的に整備するとともに、さまざまな顧客ニーズに対応していくことで、「モノづくり立国日本」の発展のための研究開発を推進していく考えである。

参考文献

- 1) Y. Xia, et al. : Annu. Rev. Mater. Sci., 28, 153(1998)
- 2) G. M. ホワイトサイズ, 外 : ナノ構造を作る新技術, 日経サイエンス, 12月号, p.30(2001)
- 3) M. Colburn, et al. : SPIE Conference, 3676, 373(1999)
- 4) H. Masuda, et al. : Appl. Phys. Lett., 71(10) 2773(1997)
- 5) Y. Hirai, et al. : Micro-and Nanoengineering Int. Conf., 162 (2002)
- 6) S. Y. Chou, et al. : Nature, 417, 833(2002)
- 7) A. Miyauchi, et al. : 1st Int. Conf. Nanoimprint and Nanoprint Technology, p.16(2002)
- 8) A. Miyauchi, et al. : Int. Symp. on Fusion of Nano and Bio Technologies, p.12(2003)
- 9) A. Miyauchi : 次世代リソグラフィワークショップ, p.133(2003)

執筆者紹介



宮内 昭浩

1986年日立製作所入社, 日立研究所 材料研究所 所属
現在, ナノプリント技術の研究開発に従事
工学博士
米国Material Research Society会員, 米国Electrochemical Society会員, 応用物理学会会員, 電気学会会員
E-mail : amiyauch @ hrl.hitachi.co.jp



萩野 雅彦

1992年日立製作所入社, 日立研究所 材料研究所 所属
現在, ナノプリント装置, 樹脂材料の研究開発に従事
E-mail : mogino @ gm.hrl.hitachi.co.jp



桑原 孝介

2002年日立製作所入社, 日立研究所 材料研究所 所属
現在, ナノプリント技術の研究開発に従事
応用物理学会会員
E-mail : kokuwaba @ gm.hrl.hitachi.co.jp



根本 雅文

1992年日立製作所入社, トータルソリューション事業部 プロジェクト統括本部 先端テクノロジーソリューションセンター ナノテクビジネス推進室 所属
現在, ナノテク分野の事業企画とエンジニアリングの取りまとめに従事
E-mail : nemoto @ tsji.hitachi.co.jp



山崎 隆徳

1998年日立製作所入社, トータルソリューション事業部 プロジェクト統括本部 先端テクノロジーソリューションセンター ナノテクビジネス推進室 所属
現在, ナノプリント技術のビジネス化推進に従事
E-mail : t-yamasaki @ tsji.hitachi.co.jp