

ナノプリント技術

中尾正史

Nanoprinting Technology

Masashi NAKAO

Nanoprinting technology has lately been developed to fabricate nanometer-size patterns on semiconductor substrates. Nanoimprint lithography, which is a simple and fast pattern-transfer technique by pressing the textured mold to semiconductor substrate via resist, enables to make line and dot patterns by less than 10 nm on the semiconductor substrates. Overview of development of the nanoprint technology is presented. Some molds for the nanoprint lithography are also introduced.

Key words: nanoprinting, nanoimprinting, mold, nanometer-size patterning, SiC mold

1. ナノプリントリソグラフィーの現状

バイオ、エコと並んでナノテクノロジー技術への巨額な投資がなされ、各種ナノ技術が数年先の産業を支える一翼となることが期待されている。ナノプリント技術は、絶縁物への微細構造形成や生体へのパターン形成の可能性など従来のリソグラフィー技術では困難ないいくつかの特徴を有しており、装置および転写原理が単純なことよりその技術が急進展しつつある。本報告ではナノプリントリソグラフィーのこれまでの研究動向、筆者らの事例の紹介および技術の将来性に言及する。

プレスによりナノパターン転写する技術を、ナノプリントリソグラフィーとここでは総称する。この技術は効率的・経済的なパターン形成技術であり、大面積・極微細パターン形成に有効である。既存のリソグラフィー技術によるパターン転写（蒸着、露光/現像、およびエッチング工程）を単純工程で置き換えることができ、解像度限界はモールドのパターン幅によって決まる。

図1にナノプリントリソグラフィーの簡単な模式図を示す。電子ビームリソグラフィーによりナノパターンの形成されたモールドを、直接あるいはレジストなどを介して半導体などの基板に押しつけてパターン転写するものである。ナノプリントリソグラフィーの特徴は、単純な原理、安価な装置、大きなスループットでパターン転写ができる

ことにある。また、高真空技術や除振対策も不要で、フォト室なども必要としないなど、非常に簡便な技術である。

表1に、ナノプリントリソグラフィーの研究の進展をトピックス的にまとめた¹⁻¹⁶⁾。Minnesota 大のグループによる 25 nm のパターン転写¹⁾に引き続き、欧米、日本でも次々にナノパターン転写が報告された²⁻⁴⁾。レジストや樹脂を介してモールドの凹凸パターンを基板へ転写する技術はナノインプリント (nanoimprint lithography; NIL) と名づけられ、10 nm 以下の微細構造転写も報告された⁵⁾。直接ナノプリント (direct-nanoprinting) は、被加工基板に直接段差を形成するために多段ステップの一括転写に有利なことが示された⁶⁾。NIL は、Chou らにより、既存パターン上への形成⁷⁾、デバイスへの応用¹⁰⁾など、実用的な観点から積極的な展開がはかられている。リソグラフィー技術の最大の課題であるパターン合わせという観点からも、種々の検討がなされている^{9,15)*}。1997, 98 年ごろから国内でも NNT が注目され始め、研究活動が活発になっていく^{11,12,14)}。上述のように原理が単純なため技術の立ち上がりは早く、すでにいくつかの装置が市販されている状況にある¹³⁾。インプリントによる転写には熱硬化法¹⁾と UV 硬化法²⁾があり、後者はパターン合わせに適しており、step and flash imprint lithography⁹⁾ は集積素子への応用も可能である。

NTT フォトニクス研究所 (〒243-0198 厚木市森の里若宮 3-1) E-mail: mnakao@aecl.ntt.co.jp

*NIL とナノプリント技術を合わせて最近では nanoimprint nanoprint technology (NNT) と総称されている。

表1 ナノプリントリソグラフィー研究の歴史。

年	機 門	内 容	文 献
1995	Minnesota 大	インプリントによる 25 nm ドットパターン形成	1)
1996	Philips RL	UV 硬化による 100 nm パターン形成	2)
1997	Harvard 大ほか 都立大, NTT Minnesota 大	soft lithography インプリントを利用したアルミナホールアレイの形成 nanoimprint lithography (NIL) による 10 nm ドットパターン形成	3) 4) 5)
1998	NTT Minnesota 大 Wuppertal 大ほか	40 nm パターンのアルミ板への直接転写 段差基板への NIL NIL によるパターン転写精度	6) 7) 8)
1999	Texas 大 Princeton 大 NTT 大阪府立大 Lund 大ほか	step & flash imprint lithography NIL のデバイス応用 (WG-polarizer, MSM-PD, LE, メモリー) 63 nm ドットパターンのポリカーボネートへの直接転写 NIL の単電子トンネル素子への応用	9) 10) 11) 12)
2000	産総研ほか	2 インチサイズ NIL → 6 インチ (2000) → 商品化	13)
2001	Bell Lab. Princeton 大	インプリントによる SOG への 200 nm パターン形成, UV 照射型 インプリントによるモールド合わせ法 NIL による三次元パターン形成	14) 15) 16)
2002.12		第1回 NNT 国際会議 (SF)	

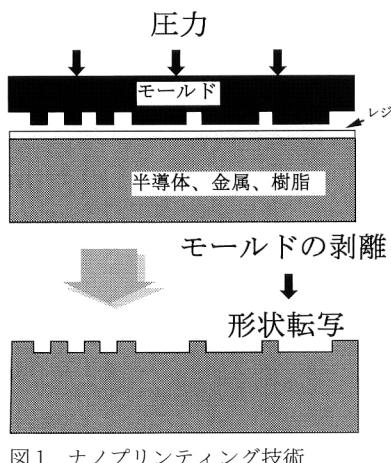


図1 ナノプリンティング技術。

2. ナノプリンティング技術の概要

筆者らは 1994 年ごろから、プリント技術をアルミなどの基板に直接転写するナノプリンティング技術の研究を始め、転写パターンをそのまま利用し、機能部品としての可能性を検討したり⁶⁾、転写パターンを自己規則化などのプロセスと組み合わせた新たな構造の作製と、それをもとにした新材料の創出に関する検討を行ってきた⁴⁾。その際、耐圧力、耐薬品、平滑性などを考慮し、SiC 基板にパターンを形成したものをモールドとして使用している。図2 は作製したモールドの一例である。パターン幅を 100 nm, 300 nm, 500 nm で、深さ 800 nm エッチングした四角柱状の SiC モールドの SEM 像を示した。約 10 kgf の圧力を数秒間 SiC モールドをアルミナ板へ直接プレスすることにより SiC の微細パターンを転写できる。モールドサイズは 5 mm 角、プレスは室温で行った。この直接ナノプリンティ

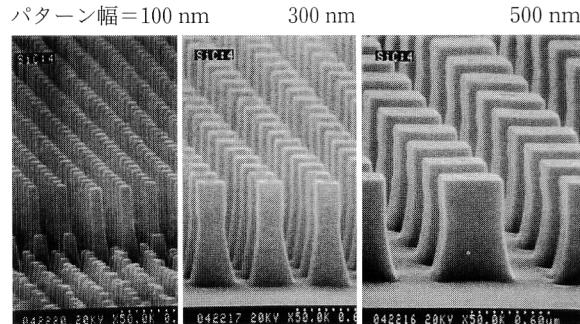


図2 ナノプリンティング用 SiC モールド。高さ = 800 nm。

ングの最大の利点は、段差の異なるパターンを同時に転写できる、いわゆるマルチステップの一括形成が可能な点である。通常のリソグラフィーでは数回に分けて行う工程を一括でできるナノプリンティング技術は、複雑なパターン形成に応用が期待できる。種々のパターン転写法と応用に関しては、最近の報告¹⁷⁾を参照されたい。

3. ナノプリンティング技術の将来性

従来のマスクを利用したリソグラフィー技術と比較して、簡便に微細パターンの転写が可能なナノプリンティングおよびナノインプリント技術はナノテクノロジーのキー技術のひとつとして注目されており、表1 にあるように 2002 年 12 月には第1回の NNT 国際会議も開かれている。ナノオーダーのパターン形成が容易になることにより、光学分野での革新的な光部品・システムの開発が期待される。また、ナノプリンティング技術は作製手順次第では真空プロセスが不要なため、生命体へのナノパターンング等、これまで不可能であったバイオ領域への応用も期待される。

文 献

- 1) S. Y. Chou, P. R. Krauss and P. J. Renstrom: "Imprint of sub-25 nm vias and trenches in polymers," *Appl. Phys. Lett.*, **67** (1995) 3114-3116.
- 2) J. Haisma, M. Verheijen, K. Heuvel and J. Berg: "Mold-assisted nanolithography: A process for reliable pattern replication," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **16** (1996) 4124-4128.
- 3) Y. Xia, J. J. McClelland, R. Gupta, D. Qin, X. Zao, L. L. Sohn, R. J. Celotta and G. M. Whitesides: "Replica molding using polymeric materials: A practical step toward nanomanufacturing," *Adv. Mater.*, **9** (1997) 147-149.
- 4) H. Masuda, H. Yamada, M. Satoh, H. Asoh, M. Nakao and T. Tamamura: "Highly ordered nanochannel-array architecture in porous alumina," *Appl. Phys. Lett.*, **17** (1997) 2770-2772.
- 5) S. Y. Chou, P. R. Krauss, W. Zhang, L. Guo and L. Zhuang: "Sub-10 nm imprint lithography and applications," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **15** (1997) 2897-2904.
- 6) S. W. Pang, T. Tamamura, M. Nakao, A. Ozawa and H. Masuda: "Direct nano-printing on Al substrate using a SiC mold," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **16** (1998) 1145-1149.
- 7) X. Sun, L. Zhuang, W. Zhang and S. Y. Chou: "Multilayer resist methods for nanoimprint lithography on nonflat surfaces," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **16** (1998) 3922-3925.
- 8) H. C. Scheer, H. Schulz, T. Hoffmann and C. M. S. Torres: "Problems of the nanoimprinting technique for nanometer scale pattern definition," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **16** (1998) 3917-3921.
- 9) P. Ruchhoeft, M. Colburn, B. Choi, H. Nounu, S. Johnson, T. Bailey, S. Damle, M. Stewart, J. Ekerdt, S.V. Sreenivasan, J. C. Wolfe and C.G. Willson: "Patterning curved surfaces: Template generation by ion beam proximity lithography and relieftransfer by step and flash imprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **17** (1999) 2965-2969.
- 10) J. Wang, S. Schablitksy, Z. Yu, W. Wu and S. Y. Chou: "Fabrication of a new broadband waveguide polarizer with a double-layer 190 nm period metal-gratings using nanoimprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **17** (1999) 2957-2960.
- 11) A. Yokoo, M. Nakao, H. Yoshikawa, H. Masuda and T. Tamamura: "63-nm-pitch pit pattern fabricated on polycarbonate surface by direct nanoprinting," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38** (1999) 7268-7271.
- 12) Y. Hirai, Y. Kanemaki, K. Murata and Y. Tanaka: "Novel mold fabrication for nano-imprint lithography to fabricate single-electron tunneling devices," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38** (1999) 7272-7275.
- 13) B. Heidari, I. Maximov, E. L. Sarwe and L. Montelius: "Large scale nanolithography using nanoimprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **17** (1999) 2961-2964.
- 14) M. Komuro, J. Taniguchi, S. Inoue, N. Kimura, Y. Tokano, H. Hiroshima and S. Matsui: "Imprint characteristics by photo-induced solidification of liquid polymer," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39** (2000) 7075-7079.
- 15) D. L. White and O. R. Wood II: "Novel alignment system for imprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **18** (2000) 3552-3556.
- 16) M. Li, L. Chen and S. Y. Chou: "Direct three-dimensional patterning using nanoimprint lithography," *Appl. Phys. Lett.*, **78** (2001) 3322-3324.
- 17) 中尾正史: "ナノプリント技術", 電子情報通信学会論文誌, **J85-C-I** (2002) 793-802.

(2003年3月19日受理)