ナノインプリント技術 —ナノスケールパターンの簡易転写技術—

宮内昭浩*, 桑原孝介*, 長谷川満*, 三輪崇夫*

* (株)日立製作所 日立研究所 (〒319-1292 茨城県日立市大みか町 7-1-1)

Nanoimprint Technology —Simple Lithography Technique for Nano-Scale Pattern—

Akihiro MIYAUCHI*, Kousuke KUWABARA*, Mitsuru HASEGAWA* and Takao MIWA*

*Hitachi Research Laboratory (7-1-1, Ohmika-machi, Hitachi-shi, Ibaraki 319-1292)

Key Words : Nanoimprint, Nanoprint, Bio-Chip, Soft Lithography

1. はじめに

米国クリントン政権時代にナノテクノロジーの重要性が認識され¹⁾, 国家レベルでナノテクノロジー研究が推進され始めた。ナノテクノロジーは, IT, バイオ・ライフサイエンス, 環境・エネルギーの主要3分野のいずれにおいても革新的技術となることが予測されている。材料サイドからナノテクノロジーを見た場合, 現象が分子レベルで自己組織的に進行するボトムアップテクノロジーと人工的に組織形態を制御するトップダウンテクノロジーの二種類に分類される。ナノテクビジネスはシステム構築の際に両者を上手く組み合わせることで従来にないデバイス性能を実現することが肝要と思われる。すなわち, デバイスプロセスにおいては, ナノスケールの構造自体は自己組織的なボトムアップ技術によって形成し, 必要なナノ構造を必要な箇所にレイアウトするトップダウン技術のコンビネーションテクノロジーがデバイス設計には必要と考えられる。コスト面から見ると, ボトムアップ技術は材料物性に基づく自然現象をドライブフォースとして反応を進行させるため, 非常に安く組織を形成できる。一方, トップダウン技術はLSI製造におけるフォトリソグラフィ技術に代表されるように, 加工寸法が小さくなるほど物理的な擾乱を排除した高精度な制御技術が必要となるため加工設備は高額となってしまふ。したがって, トップダウン技術を適用した製品は市場規模が巨大な半導体産業やディスプレイ産業に限られている。

ナノテクノロジーの発展を図るには, デバイス製造を容易に実現できる低コストなナノスケール加工技術の実現が必須と考えられる。近年, 米国を中心にマイクロコンタクトブリント(μ CP), 毛細管マイクロモールド(MIMIC), ディップペンリソグラフィなどのナノ構造の簡易形成技術に関する要素実験結果が報告されており^{2),3)}, ナノ構造形成技術の黎明期の感がある。特に, ナノインプリント(nanoimprint)技術は1993年にアイデアが出され⁴⁾, 1995年にミネソタ大の

Prof. Chou(現プリンストン大)がPMMA(polymethylmethacrylate)に25nmのドットを形成できることを実証した⁵⁾。その後, sub-10nmスケールのパターン形成⁶⁾, ストレージメディアへの応用^{6)~8)}, トランジスタの試作⁹⁾, シリコンへの直接転写⁹⁾などが報告されており, 最も実用化時期が近いと思われる。ここでは紙面の関係上, ナノインプリント技術(nanoimprint)に関して紹介する。

2. ナノインプリント技術とは

ナノインプリント技術はナノスケールの凹凸パターンを形成したナノスケールの金型とも呼ぶべきスタンプをレジスト(樹脂)薄膜を塗布した基板に押し当てることでレジスト薄膜にパターンを転写する技術である。

図1はナノインプリントの工程説明図である。シリコンやガラス製の基板の上にレジストをスピンコート法で塗布する。次にプレス機のステージに基板を設置した後, 基板をレジストのガラス転移温度(PMMAの場合105°C)以上に加熱する。

ステップ1: レジストを加熱後,
微細凹凸スタンプをプレス

ステップ2: 冷却後, スタンプを離す

図1 ナノインプリント法によるパターン転写の原理説明図

図2 PMMA 薄膜への転写例

柔らかくなったレジストに微細な凹凸を形成したスタンプを押し当てる(圧力は数十 $\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 120 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 程度)。次に基板を冷却し、スタンプをレジストから乖離する。以上の工程によってレジストの表面にはスタンプ表面のパターンが転写される。用いられる装置は研究用のホームメイド¹⁰⁾が多いが、最近はメーカーからナノインプリント装置として設備の販売が始まっている^{11)~13)}。

3. ナノインプリント技術による微細パターンの形成

図2は筆者らのグループのナノプリント実験装置によって作製したPMMA薄膜表面へのパターンニングの一例である。サブ μm スケールのライン&スペースやドットパターンを一回のプレスで形成できた。ナノインプリント技術におけるスタンプはいわば金型である。よって、微細な金型の作製にたとえばスルーボットの低い電子線直接描画技術を使用しても一度ナノ金型を作製しておけば、あとはスタンピングを繰り返すことで容易にナノスケールパターンを複製できることになる。すなわち、ナノインプリント技術は量産性に課題の多い電子線直接描画技術を補完する技術ともいえる。ナノインプリント技術のポイントの一つは、大型のスタンプと基板とをいかに均一に密着させ、そして上手く乖離するかである。

スタンプは基板上的レジスト薄膜を塑性変形させるためにレジストと密着する必要がある。しかし、乖離工程時にはスタンプはレジストときれいに剥がれなければならない、互いに矛盾する性質が必要となる。現在はレジストのガラス転移現象や、紫外光照射によるレジストの固化^{14),15)}によってはく離を容易にする手法が取られている。今後は被転写材料とスタンプ表面の化学的性質を利用した技術の開発が重要と思われる。

ナノインプリント技術は電子回路への応用を念頭に発展したため、フォトリソグラフィ技術の代替としてレジスト薄膜やシリコン材料のパターンニングを前提としてきた。しかし、バイオ分野への応用では、パターンニングする対象はレジスト薄膜に限る必要はなく、たとえばポリスチレンなどの材料に微細なパターンを形成できれば従来にないバイオデバイスを実現できる可能性がある。図3はポリスチレン板の表面にサブ μm パターンをナノインプリント技術によって形成した例である。スタンプによる直接転写によってポリスチレン板の表面にサブ μm パターンを簡便に形成できることが分かった。パターンの形成によって表面積が増加するため、バイオチップの化学反応の促進効果が期待できる他、パターンの構造自体に機能を持たせることも考えられる。

図3 ポリスチレン基板への直接転写の一例

4. おわりに

ナノテクノロジーを普及させるための低コストなナノスケール加工技術であるナノインプリント技術の概略を紹介した。ナノインプリント技術ではサブ μm スケールのパターン形成が可能であることを示した。ナノインプリント技術の特徴はプロセスの簡便性、低コストに特徴があり、バイオチップのような消耗品の製造に適していると考えられる。なお、2002年12月に第一回 Nanoimprint/Nanoprint Technology 国際会議が San Francisco で開催予定であり、今後の本分野の発展に期待したい。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、(株)日立ハイテクノロジーズの横山哲夫博士、古賀正太佳氏、宮原裕二博士、坂詰 卓氏のご支援、ご指導を頂き、ここに深く感謝いたします。

(2002-9-27 受理)

文 献

- 1) R. W. Siegel, E. Hu, and M. C. Roco ; Nanostructure Science and Technology, National Science and Technology Council (NSTC)
- 2) Y. Xia and G. M. Whitesides ; *Annu. Rev. Mater. Sci.*, **28**,

- 153 (1998)
- 3) G. M. ホワイトサイズ, J. C. ラブ ; 日経サイエンス, 12月号, p. 30 (2001)
- 4) K. Kuwabara, Y. Mori, and Y. Mikami ; USP 5259926
- 5) S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom ; *Appl. Phys. Lett.*, **67**, 3114 (1995)
- 6) S. Y. Chou, P. R. Krauss, W. Zhang, L. Guo, and L. Zhuang ; *J. Vac. Sci. Technol. B*, **15**, 2897 (1997)
- 7) B. Heidari, I. Maximov, E.-L. Sarwe, and L. Montelius ; *J. Vac. Sci. Technol. B*, **17**, 2961 (1999)
- 8) J. Moritz, B. Dieny, J. P. Nozieres, S. Landis, A. Lebib, and Y. Chen ; *J. Appl. Phys.*, **91**, 7314 (2002)
- 9) S. Y. Chou, C. Keimel, and J. Gu ; *Nature*, **417**, 835 (2002)
- 10) たとえば S. Matsui, Y. Igaku, H. Ishigaki, J. Fujita, M. Ishida, Y. Ochiai, M. Komuro and H. Hiroshima ; *J. Vac. Sci. Technol. B*, **19**, 2801 (2001)
- 11) [http : //www.evgroup.com/products/hotembossing.htm](http://www.evgroup.com/products/hotembossing.htm)
- 12) [http : //www.jenoptik.com/](http://www.jenoptik.com/)
- 13) [http : //www.obducat.com/](http://www.obducat.com/)
- 14) M. Komuro, J. Taniguchi, S. Inoue, N. Kimura, Y. Tokano, H. Hiroshima, and S. Matsui ; *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39**, 7075 (2000)
- 15) H. Hiroshima, S. Inoue, N. Kasahara, J. Taniguchi, I. Miyamoto, and M. Komuro ; *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, 4173 (2002)