

UV ナノインプリント用モールドの作製技術

HOYA 株式会社 R&D センター

流川 治

UV nano-imprint mold fabrication Technology

Osamu Nagarekawa

R&D Center HOYA Corporation

1. はじめに

極微細なパターンの転写忠実性が高く、費用対効果の良いリソグラフィ法として最近脚光を浴びているナノインプリント技術において、そのモールドの開発が最重要課題とされている。基本的な UV ナノインプリント用モールド作製方法は、現在半導体用位相シフトマスク製造に用いる技術と共通である。ナノインプリント法では、等倍モールドを使用する為、フォトマスクに比べて微細なパターンを形成する必要があり、この対策がナノインプリント技術の実用化の重要な鍵となっている。最先端のフォトマスク製造技術を紹介しながら、UV ナノインプリント用石英モールドの試作例を紹介する。

2. ナノインプリントとは¹⁾

ナノインプリントという言葉が初めて登場したのは、1995年に Stephen Y. Chou 教授（現プリンストン大学）らの発表によるものであるが²⁾、この技術そのものは、30年以上前に NTT より特許が出されている^{3),4)}。2003年には、マサチューセッツ工科大学の「21世紀の

10大技術」に選ばれたり、ITRS（国際半導体技術ロードマップ）の 32 nm ノード以降のリソグラフィ技術候補に登場したりして、近年その関心が急速に高まってきている。

図1に熱ナノインプリント法と光ナノインプリント法の簡単なプロセスフローを示す。型押しを基本とする射出成形やホットエンボス手法を延長させて、解像性をナノレベルまで高めたものであるが、パターン転写部分と基板との材質が異なるのが一般的である。また、転写されたパターンを用いて基板を加工する一連のプロセス技術もこのナノインプリント技術に含まれる。

図2には代表的なナノインプリント用モールドの試作例を示す。また、図3はグラシーカーボン（GC）製モールドを用いた石英ガラスへの熱ナノインプリント転写例を示す。図4には、このナノインプリント技術の適用が可能とみられる応用分野とそのパターン形状を示す。

3. フォトマスクの製造工程

UV ナノインプリント用モールドの製造は、現在の最先端フォトマスクである石英掘り込みタイプの位相シフトマスク製作工程がそのまま使える。フォトマスクとは、写真のネガフィルムのようなものであり、回路パターンを光転写する時の原版である。フォトマスクの製造工程

〒196-8510 昭島市武蔵野 3-3-1
TEL 042-546-2768
FAX 042-546-2742
Email: nagarekawa@sngw.rdc.hoya.co.jp

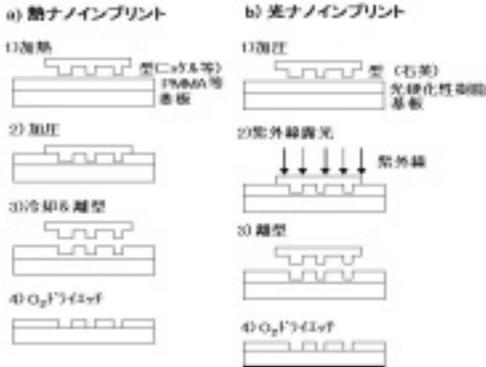


図1 ナノインプリント方式プロセスフロー

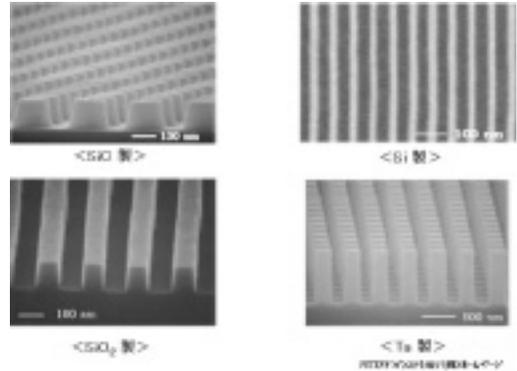


図2 ナノインプリント用モールド

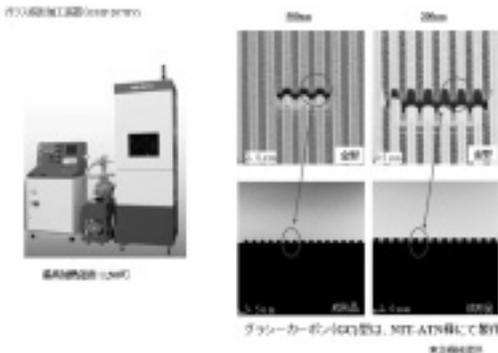


図3 石英ガラスへの微細転写

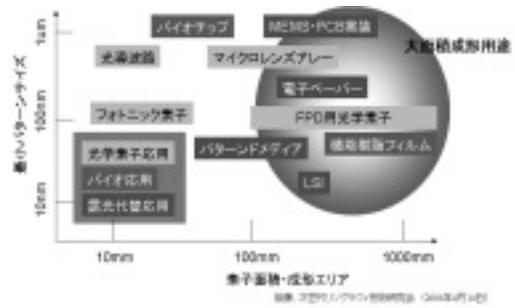


図4 応用分野とパターン形状

を図5に、石英基板を $\lambda/2$ だけ掘り込んだ位相シフトマスクの製作フローを図6に示す⁵⁾。

等倍の微細なパターンを作るには電子線描画が一般的に用いられ先ずは、この描画の為のデータと描画機を連動させる為のデータ準備が必要となる。描画後、現像、エッチング、検査修正という主な工程をへてマスクとなる。次に検査修正工程以外の概略を順を追って説明する。

4. 電子線描画

電子線は物質波として波長が非常に短く、回折収差が無視できるほど小さい。そのため電子線描画装置は本質的に最も高い解像度を有している。始めに登場してきたガウシアン（ポイント）ビームはスポット露光であるため、一度に

露光できる面積が非常に小さく、その分、解像性に優れるが生産性が非常に低い。この課題に対して2枚のアーチャーによりビーム形状をショット毎に変更し、大面積を一度に露光できる可変成形成ビーム法が開発され、主としてフォトマスクの製造に使われている。現状では、ある程度の生産性も考慮しての限界解像度は100 nm程度であり、一方生産性を犠牲にしてのポイントビームでの解像性は20 nm程度である。

5. レジスト工程

現在先端マスクの製造には、100%化学増幅レジスト（Chemically Amplified Resist: CAR）が使用されている。可変成形成法では幾何収差によるビームボケの他に生産性向上のために高電流密度化しているため、クーロン効果

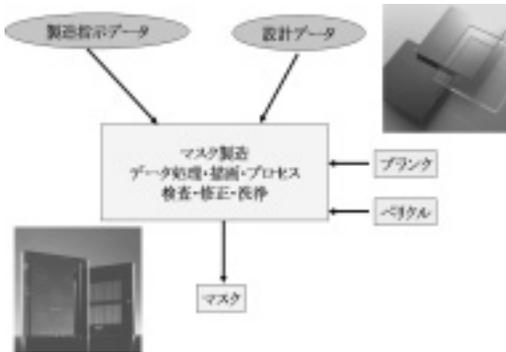


図5 フォトマスク製造工程

などによるビームボケが加わる。この為 50 nm 以下の超微細なパターンを必要とするナノインプリント用モールドの作製においては、高解像性を有するポイントビーム描画機を使っている。実績のある高分子型レジストである ZEP-520 A は 100 kV 電子ビーム描画における感度は $300\sim 500 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ と、かなり低いものになってしまう。また LER (Line Edge Roughness) も同時に問題となる特性であり、現在の CAR では $5\sim 7 \text{ nm}$ 程度である。LER の要因は、ビームボケ (電子ビームの形状、レジスト内での散乱、現像等を合わせた擬似ビームプロファイルのボケ)、電子ビームの局所的な揺らぎ、及びレジストそのものの分子量との関係などが報告されている^{6,7)}。実績レベルでは高分子型レジスト (ZEP-520 A) が優位であり、 3 nm 程度の LER で納まっている。ナノインプリント用モールドにはレジストの高解像性と低 LER の両立が必須条件となる。近年報告されている HSQ やカリックスアレン系レジストにおいては、 50 nm を大幅に上回る高解像度が達成されており、その実用化が期待されている⁸⁻¹⁰⁾。しかし、これらに必要な感度は $1 \text{ mC}/\text{cm}^2$ 程度と非常に低く ZEP-520 A の 3 倍、代表的なフォトマスク製造用の CAR の数十倍の照射量が必要となる。マスク描画機の電流値が数 μA であるのに対し 50 nm 以下を解像するポイントビーム描画機の電流値は、数 nA 程度であるため、低感度レジストを用いた超微細パ

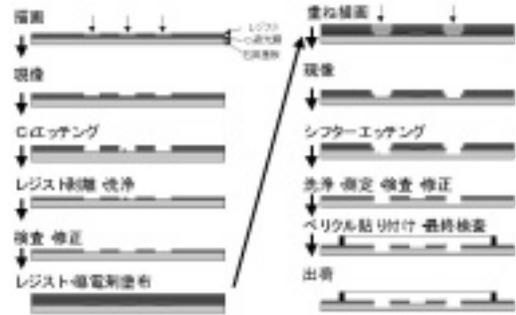


図6 石英基板掘り込み型位相シフトマスク製作フロー

ターンを数十ミリ角で描画しようとする約 1 日間の連続描画が必要となってしまう実用的でないことがわかる。

6. ドライエッチング工程

レジスト像をマスク体に食刻により転写する手法をエッチングと総称され、その方法により Wet (湿式) と Dry (乾式) 法に分けられる。近年の微細化に伴い、ドライエッチングが不可欠の技術となっている。特に異方性の高いパターン形成プロセスではドライエッチングが不可欠の技術となっている。図7にフォトマスク用ドライエッチング装置の概念図を示す。図8には石英ガラス基板掘り込み後の深さバラツキを示す。Range で 1.5% (26 nm) に入っており問題のない値が得られている。

7. 液晶ディスプレイ部材用石英モールド

この項では、UV ナノインプリント用石英モールドの試作例を示す。Molecular Imprints 社 (以下 MII) のフォーマットをもとにしてのモールド作製フローを図9に示す。また、MII 社では S-FIL と呼ばれる方法での半導体用途には最適な UV ナノインプリント装置を販売している。その概略を図10に示す。また実際に石英ガラス掘り込みまで終了した 6025 プレートの写真を図11に示す。

次の例は、 25 mm 角に $10 \mu\text{m}$ ピッチで 100 nm の幅で深さ 200 nm の溝を作ったものであ

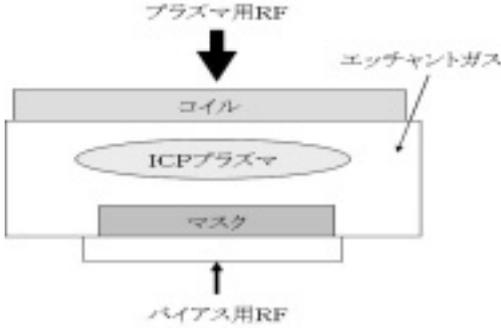


図7 フォトマスク用ドライエッチング装置の概念図

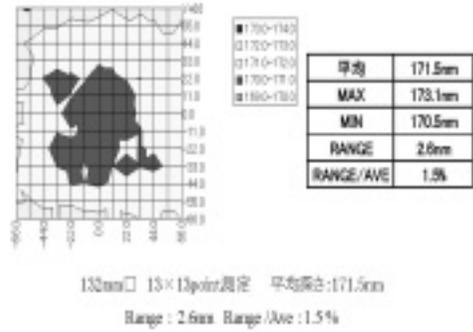


図8 石英ガラス基板掘り込み後の深さバラツキ

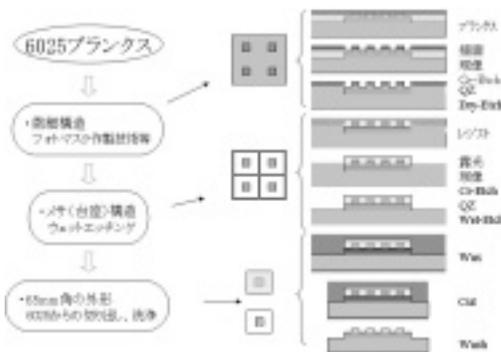


図9 光ナノインプリント用石英マスク作製フロー

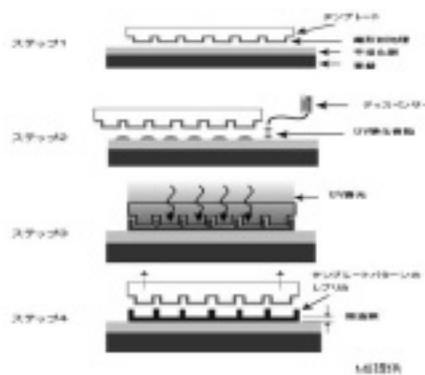


図10 S-FIL プロセスフロー

る。パターン配置を図12に示す。また、MIIで実際にインプリントしてもらった結果を図13に示す。また、この時の掘り込みパターンの寸法精度を図14に示す。100 nm レベルのパターンとしては、いずれも十分満足の行く結果であった。現状のマスク製作工程で更なる微細化を目指す手段の1つとして、ブランクスの遮光膜及びレジストを薄膜化する方法がある。大幅に薄膜化したブランクス (Cr 10 nm, レジスト 100 nm) を使い, Wire Grid 偏光板開発用としての 50 nm の L&S (1 : 1) を 25 mm 全面に作製した例を図15に示す。更に, 大面積用として 50 mm 角に挑戦した結果を図16に示す。この時の鳥瞰図を図17に, 断面図を18に示す。

8. 半導体用石英モールド

UV ナノインプリント技術の半導体分野への応用は, 2001 年頃から Texas 大学を中心として設立された MII が精力的にその開発を進めている。また, 2003 年より ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductor) に 32 nm ノード以細のリソグラフィ候補として登場している。

以下に半導体用途としてのモールドの試作結果¹¹⁾を示す。図19にはモールド作製時の諸条件を, 図20, 21, 22には 40 nmhp (half pitch, パターン部とスペース部が 1 : 1) の Line& Space, Contact Hole, メタル配線パターンを示す。左側が HOYA 作製のモールド, 右側が MII で UV ナノインプリント後の SEM 写真である。

次に, 2013 年頃からの実用化を目指している 1 Tb/cm² クラスの記録密度を持つ, 磁気デ

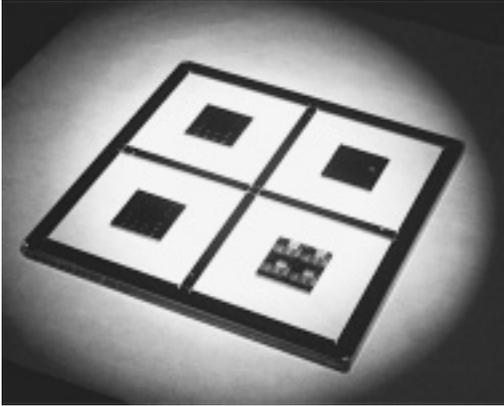


図 11 6 インチ切断前プレート

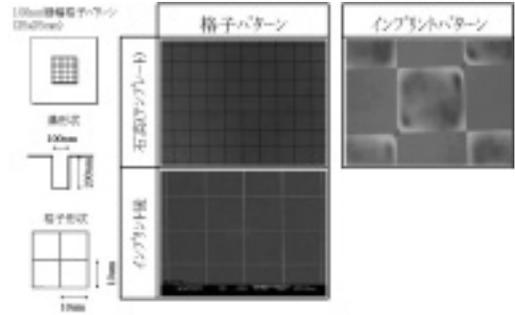


図 12 光ナノインプリント用モールド (パターン配置)

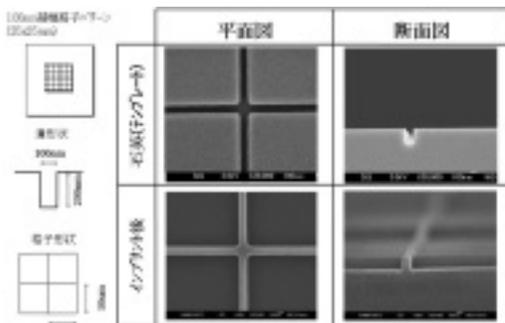


図 13 光ナノインプリント用モールド (インプリント後)

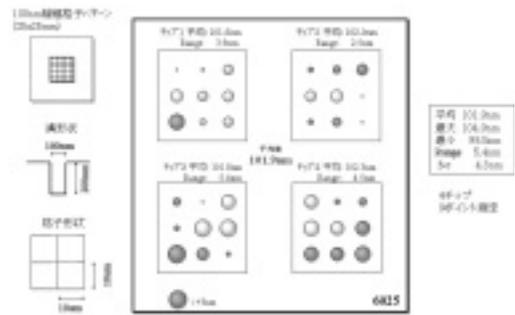


図 14 光ナノインプリント用モールド掘り込み寸法

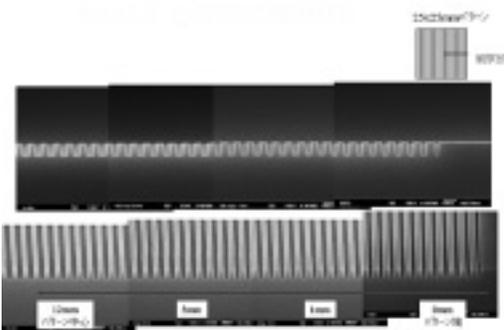


図 15 25 mm 角 50 nm L&S (1 : 1) 断面写真 (ZEP-520 A)

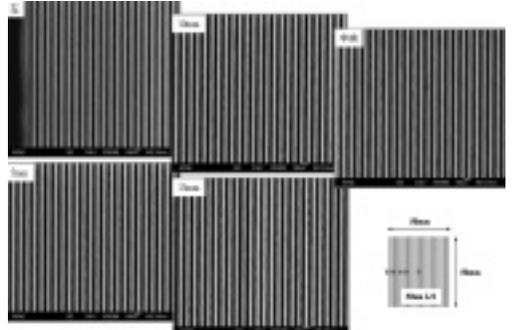


図 16 50 mm 角 50 nm L&S SEM 写真

ディスク (Patterned Media) の代替を目標として IBM が開発を進めている Storage-Class Memory の試作例を示す。これは、高密度の次世代不揮性メモリーで現在のフラッシュメモリーをも凌ぐものである。この相変化メモリー

開発の原理検証用として試作されたのが、30 nm レベルの Fin FET nanowire 作製用テンプレートである¹²⁾。

この具体的な内容は、2007 年の EIPBN¹³⁾ で M. W. Hart 博士から報告されている。図 23 に

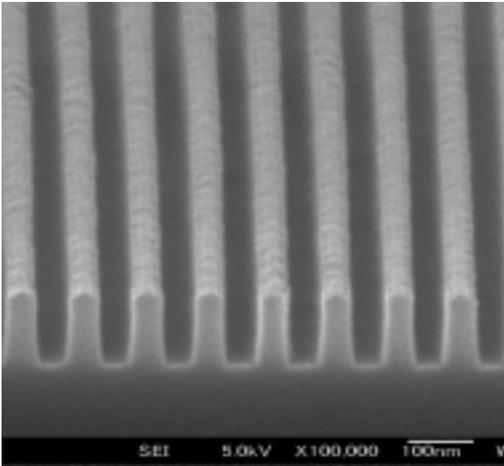


図 17 50 nm L&S 鳥瞰図
(掘り込み深さ 150 nm)

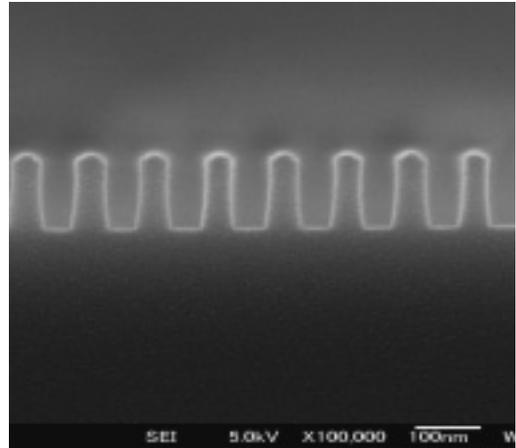


図 18 断面図
(掘り込み深さ 150 nm)

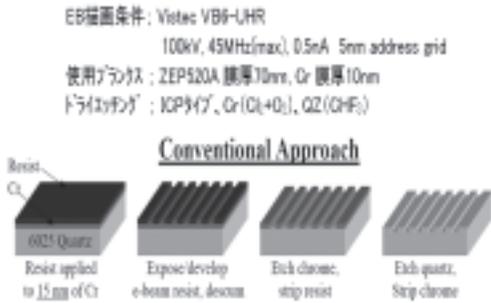


図 19 モールド作製の諸条件

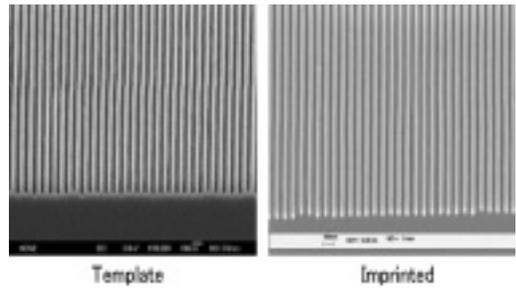


図 20 40 nm hp L&S

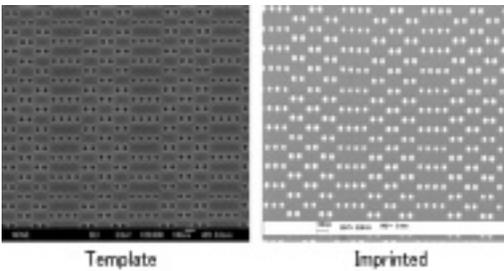


図 21 40 nm hp Contact Hole Array

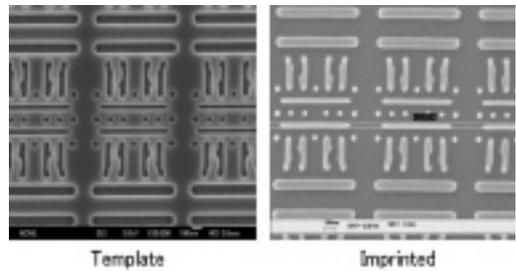


図 22 40 nm hp Metal 1

は、実際に作製したモールドの全体像を図 24 には、その断面図、図 25 には、その拡大写真と MII で UV ナノインプリントされた転写像、図 26 には UV ナノインプリント法を用いて作製されたテストデバイスの断面写真を示す。

おわりに

UV ナノインプリント用モールドに現在求められている課題の 1 つは更なる微細化と大型化である。単なる微細化という意味では、数 nm の転写例もあるが半導体用途としては 32 nm ノード (32 nmhp) のパターン試作は、ほぼ終

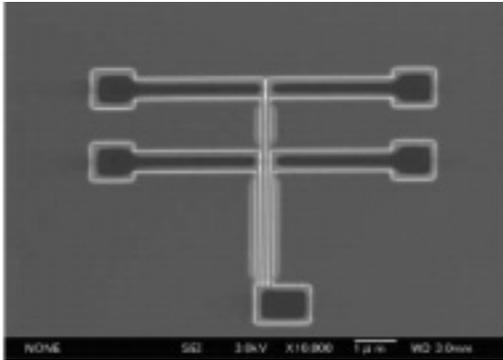


図23 ナノワイヤ 幅30 nm ピッチ120 nm

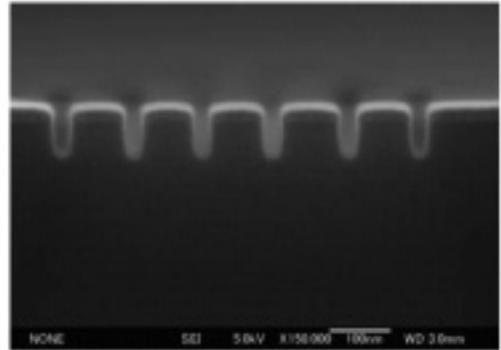
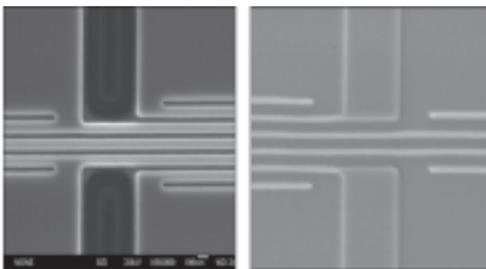
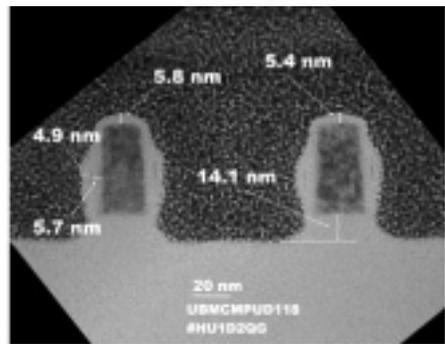


図24 ナノワイヤ部断面 深さ80 nm 側壁角度



ナノインプリント用テンプレート(型) (HOYA特許) ナノインプリント(転写像) (Molecular Imprints Inc. 特許, 提供)

図25 拡大写真と転写像



上記テンプレート及びナノインプリントパターンを使って作製された大容量メモリ(アドレス回路部) (IBM特許, 提供)

図26 テストデバイスの断面写真

了しており、22 nmhp もかなりの確率で達成が可能と思われる。ただ、実用化という観点では無欠陥保証が必要であり、今回は触れなかったが検査、修正という必須事項の開発がまだまだの状況である。

一方100 nm ピッチ以下での大面積化という点では、前述の25 mm角、50 nm L&Sでも1日程度の電子線描画が必要である。50 mm角となると4日程度となってしまう安定性も含めて、かなりの負担となっているが、ディスプレイ用途では小さすぎてまだ使用に耐えない。高感度でLER (Line Edge Roughness) の良いレジストの開発が待たれるわけであるが、この2つの課題を同時に解決するのはたやすくはないのが現状である。今回の説明には入れてなかったが、最近では磁気ディスク関連でのモールド

の引合いも急増している。以上のように用途が明確になったモールドの引合いが増えてきており、実用化に向かっての動きは着実に進んでいるものと思われる。

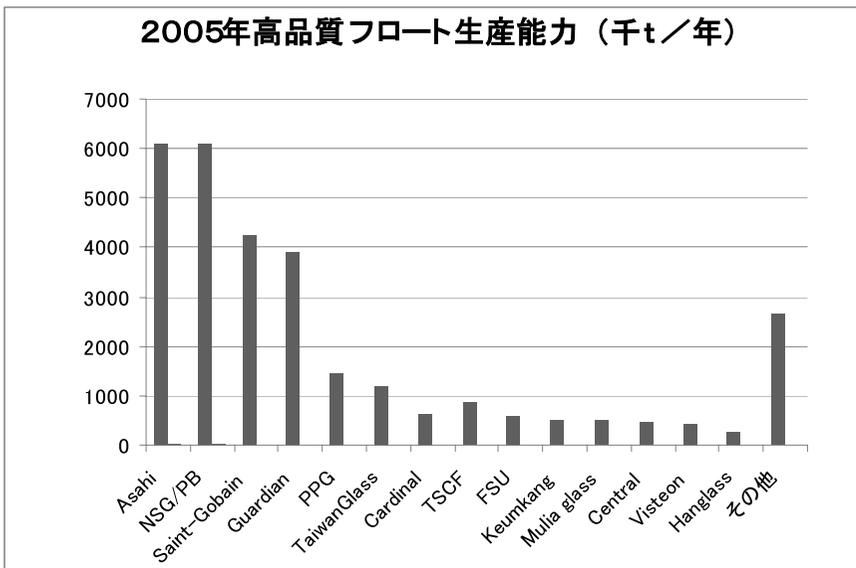
参考文献

- 1) 谷口 淳 はじめてのナノインプリント技術 工業調査会 2005
- 2) S. Y. Chou et al., Jpn. J. Appl. Phys. Lett. 67, 3114 (1995)
- 3) 近藤他 特許 第990140号「微細加工法」(特願昭49-109694)
- 4) 藤森他 特許 第947244号「マスク作成方法」(特願昭50-102471)
- 5) 大久保 靖 ULSI リソグラフィ技術の革新 サイエンスフォーラム (1994) 121
- 6) T. Yamaguchi et al., SPIE 3333, 830 (1998)
- 7) T. Yamaguchi et al., SPIE 5339, 1212 (2003)

- 8) K. Yamazaki et al., SPIE 3997, 458 (2000)
- 9) M. Ishida et al., Jpn. J. Appl. Phys., 42, 3913 (2003)
- 10) H. Namatsu et al., J. Vac. Sci. Technol., B 16, 69 (1998)
- 11) O. Nagarekawa, Template Fabrication with Gaussian Beam Tool, International SEMATECH Litho Forum (2006)
- 12) H. Kobayashi et al., 30 nm Template Fabrication for Step & Flash Lithography, Proc. of SPIE 6517-47 (2007)
- 13) M. W. Hart, Step-and-Flash Imprint Lithography for Storage-Class Memory, Abstract of EIPBN 5 C-1 (2007)

世界の板硝子メーカー

2005年高品質フロート生産能力 (千t/年)



Asahi(日本) NSG/PB(日本) Saint-Gobain(仏) Guardian(米) PPG(米)
 TaiwanGlass (台湾) Cardinal (米) FSU (ロシア) Keumkan (韓国)
 Mulia glass(中国) Central(日本) Visteon(米) Hanglass(韓国)

(出典：日本板硝子社 2006年プレスリリースの表から NGF 作成)