

平成 15 年 戦略的基盤技術力強化事業  
研究開発成果報告概要

事業管理 法人名	財団法人 日立地区産業支援 センター	代表者名	理事 櫻村 千秋	所在地	〒316-0032 日立市西成沢町二丁目 20 番 1 号 0294-25-6121
-------------	--------------------------	------	-------------	-----	--

管理番号 技術分野 金型分野  
15K-1 技術区分 超微細・精密・複雑構造部品成形加工金型技術 / 金型加工技術  
技術開発課題 ナノプリントに用いる光透過性ナノ金型に関する研究開発  
テーマ名 光硬化型ナノ金型に関する研究開発  
研究開発期間 平成 15 年 8 月 28 日 ~ 平成 16 年 2 月 27 日

### 1. 委託事業実施の背景と委託事業の概要

IT 分野におけるストレージメディアや LSI の製造には、サブミクロン ( $\mu\text{m}$ ) スケールのパターン形成技術が適用されており、今後とも、微細化は進行すると予測されている。微細加工に要する製造コストは莫大な金額に達している。また、イオンビームや電子線 (EB) 直接描画による微細化技術ではパターンを基本的には一筆書きで形成しており、高スループット化が困難な状況となっている。

最近、ナノスケールのパターンを簡便に一括転写するナノプリントと呼ばれる新規のリソグラフィ技術が注目されており、欧米は国家プロジェクトとして推進を開始した。特に、光硬化型樹脂に透明な金型をプレスしながら紫外線で樹脂を硬化させる「光硬化型ナノプリント」は、室温で微細なパターンを転写できるため熱膨張を抑制でき、高精度な転写が可能なパターン形成技術である。しかし、石英ガラスに代表される光透過性材料からなるナノ金型は市販されておらず、今後の市場ニーズに対応できなくなることは明白である。

そのために、ストレージメディアや LSI 等の製造に適用可能な光硬化型ナノプリント用の光透過性ナノ金型を市場に投入することを目的として研究開発する。

### 2. 委託事業全体の内容と目標

#### (1) 技術の内容と新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

従来のプレス金型あるいは超精密プレス金型では、基本的に切削によって金型を製作しており、得られる最小加工寸法は約  $1\mu\text{m}$  である。本研究開発では、最小加工寸法をナノスケールまで下げるために、金型製作に電子線直接描画技術に代表される半導体リソグラフィ技術を適用する。これらの超微細加工技術によって石英ガラス基板などの表面に微細パターンを形成する。この開発により従来金型と比較して 10~20 倍高精度化が達成される。

本研究開発では、石英ガラスを金型として用いるため、ハンドリング時やプレス工程、剥離工程において破損する恐れがある。金型として使用するためには石英ガラス板のハンドリング技術やプレス時および剥離時に石英ガラス板が破損しないための石英ナノ金型用ハンドリング治具の開発およびプレス装置への高精度の実装技術が開発の中核となる。さらには、金型表面での樹脂の流動解析に基づく高精度な成形技術の開発が必須である。そこで、上記のハンドリング技術や実装化・セッティング技術の開発は金型加工や極細絞り技術を有し、高速プレス機等の設備が充実している大貫工業所や河村製作所が担当し、耐久性向上技術に関しては産総研が支援する体制となっている。これにより、新規金型分野における基盤技術の強化を図る。また、高精度な成形技術の開発は浸透性の高い樹脂による成型加工技術を有する山本理化学工業と日立ベーク工業所が中核となり、茨城大学・物質工学科の小野教授と久保田助教授が樹脂材料関連の技術開発を支援する体制となっており、中小企業の守備範囲を広げると共に基盤技術の強化を図る。

#### (2) 技術目標値

- (a) 石英ナノ金型の微細加工技術の開発：最小加工寸法 50nm
- (b) 金型表面での光硬化型樹脂の流動制御：最小パターン形状 50nm，  
有効パターンエリア 2.5inch
- (c) 石英ナノ金型の高耐久化技術の開発：石英ナノ金型寿命；プレス 300 回以上
- (d) ナノ金型ハンドリング・実装技術の開発：金型有効エリア 2.5inch
- (e) ナノプリントプロセス・評価の開発：最小パターン寸法 50nm

### 3. 委託事業全体における技術目標値を達成するための課題と解決方法

#### (a) 石英ナノ金型の微細加工技術の開発：

##### 石英ガラス加工時の垂直性確保

金属マスクを用いないレジストマスクのみを用い、反応性イオンエッチング (RIE: Reactive Ion Etching) 法によるガラス加工条件の最適化し、これまでの金属マスクを用いたガラス加工と同等の垂直性  $90 \pm 5^\circ$  を目標とする。

##### 金型原版に対する石英ガラス基板のミクロ的な表面の粗さ及びマクロ的な表面のうねりの改善

金型用石英ガラス基板の表面粗さやうねりの基礎データを取得し金型に適した石英ガラス基板の開発を行う。

##### 50 nm 以下の電子線描画技術の開発

50nm の EB 描画時の問題点を抽出し、さらに対策を行うことで 50nm 以下のパターン形成に対する EB 描画技術を開発する。極座標系の EB 描画装置を適用することにより円周上パターンの EB 描画技術の開発を行う。

#### (b) 金型表面での光硬化型樹脂の流動制御：

##### 樹脂の金型表面からの離型性

金型表面の離型処理を行う。樹脂との相互作用の少ない離型剤および石英ガラス表面への処理方法を開発し処理することで、樹脂と石英ナノ金型の相互作用が軽減されることで課題を解決。

##### 金型表面での樹脂の流動制御

金型表面での樹脂の流動特性を調査、解析し、石英ナノ金型用高浸透材料を試作、評価する。石英ナノ金型の表面状態と光硬化樹脂の分子構造や物理的および化学的特性と浸透性について調査、試作、評価することでメカニズムを解明し、最適な浸透制御が可能となる。

##### 光硬化樹脂の硬化特性および硬化物性制御

光重合開始剤の検討を行い石英ナノ金型用高速硬化樹脂材料の試作を行うとともに金型パターンの転写特性や形状安定性を評価し最適化することで上記課題を解決する。

#### (c) 石英ナノ金型の高耐久化技術の開発：

石英ナノ金型を高耐久化させる上での課題は剥離時における石英ナノ金型表面への樹脂付着防止である。表面処理のない石英ガラスと石英ガラスへの付着力が既知の樹脂を利用し、パターン破壊条件を明らかにする。これにより、樹脂の付着力とパターンの非破壊条件が明らかになり、既知の樹脂では問題がある場合でも、樹脂の付着力をどこまで低減すべきかの知見を得ることができる。また、実際に表面処理により付着力を低減した場合に期待した振る舞いをしめすかどうかを検証する。

#### (d) ナノ金型ハンドリング・実装技術の開発：

##### 高精度金属加工技術

これまで培ってきた金属金型加工技術を更にリファインし、試作・評価を進めることで加工精度の向上を図る。

##### ガイドリング/石英ナノ金型固定化技術

ハンドリング治具を模擬的に固定し石英ガラス原版等に圧力を加えた場合の歪等を評価できる設備を設計、試作するとともに、評価用ハンドリング治具の装置本体への実装法やハンドリング治具形状、石英ガラス原版取り付け部の形状を最適化するとともに、応力緩衝層の形成等固定方法について検討するため試作・評価することで最適形状、構造、方法を見出す。

#### (e) ナノプリントプロセス・評価の開発：

##### 高精度転写技術

樹脂塗布量、光照射量、転写圧力、剥離速度などを高精度に制御できる石英ナノ金型転写特性評価設備を設計、試作する。更にこの設備を使用し、各種パラメータを変え、転写物の形状、面内ばらつき等の評価を行い、石英ガラス基板加工、剥離処理技術、ナノ金型ハンドリング治具開発等にフィードバックをかけることで本研究開発全体の完成度を高めてゆく。

##### 超微細パターン形状評価技術

低加速電圧による高解像度の SEM 観察や AFM、短波長レーザ顕微鏡等による評価法の検討を行うとともに、今回の研究開発の中で試作したパターン転写物を高精度に評価できる技術を確立する。

#### 4．当該年度における技術目標値の達成の状況と意義（実績）

- (a) 石英ナノ金型の微細加工技術開発に関し、レジストの選定、エッチング加工条件の最適化により加工面の角度実績は $85^{\circ}$ となり、目標の $90^{\circ} \pm 5^{\circ}$ を達成した。また、高精度基板の選定およびドライエッチング条件の最適化によって表面粗さ $R_{max}3.3\mu m$ となり目標の $5\mu m$ 以下を達成した。次年度は本年度で得た条件をもとに最小加工寸法 $50\mu m$ を目標に検討を進める。
- (b) 金型表面での光硬化型樹脂の流動制御に関し、石英ナノ金型表面での樹脂残留率低減を目的に検討した。液相減圧処理法および気層処理法が有効であり、金型表面における樹脂残留率は10%以下であることを確認し、本年度の目標を達成した。また、液相減圧処理での効率的な金型離型再処理工程確立の必要性および、気層処理用新規離型剤開発の必要性が顕在化した。これらの知見を踏まえ次年度は金型の洗浄、再処理工程の検討を追加するとともに、気層処理用新規離型剤の検討を引続き行う。
- (c) 石英ナノ金型の高耐久化技術の開発に関し、極薄膜に離型処理可能な離型剤を選定し、処理基板を試作し、剥離試験をその場作製手法により評価した。その結果、100回使用時の剥離応力は $0.14\text{MPa}$ であり、未処理の場合と比べ約70%以上低い値であり目標を達成した。次年度以降はせん断方向の応力を評価し、金型の破壊シミュレーションを行い石英金型の破壊条件を明確にしてゆく。
- (d) ナノ金型ハンドリング・実装技術の開発に関し、光透過エリアが3inchで、高精度に加工された石英ガラス原盤の損傷や転写精度の劣化を防止するためのハンドリング治具を5種設計試作し、また、転写時の金型歪等を正確にするため高精度位置合わせ機構を備えたハンドリング治具・実装治具評価設備を設計試作した。次年度は本年度試作した5種のハンドリング治具を評価設備にて評価するとともに、今回の試作にて顕在化した治具の薄型化等も併せて検討する。
- (e) ナノプリントプロセス・評価の開発に関し、樹脂上にパターンを形成する際に影響を与えるパラメータとして 光照射量、転写圧力、転写温度の3パラメータを抽出し、具体的設計仕様を決定した。また、上記パラメータがコントロール可能で且つ、光照射エリア $100\text{mm}$ 、ステージサイズ3inchで転写パターンエリアが3inchを有する光硬化型ナノ金型評価設備の試作を完了し目標を達成した。次年度以降は今回開発した設備を用い最小パターン寸法 $50\text{nm}$ を実現するためにプロセス条件の最適化を行う。

以上、本年度の技術目標値はほぼ達成できたことと次年度の取組みについて記述したが、事業化を取り巻く環境変化の中でもふれたように、光ナノ金型に関する需要は、今後研究分野等から急速に立ち上がる可能性があることから、また本研究開発の関連事業化として金型再生ビジネスが重要視されてきており、次年度から新たに金型再生方法の検討も加えて、目標どおり研究開発成果を取得し、事業化に向け更に連携推進していきたい。

#### 5．事業化の目標と当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

平成15年12月にはボストンでナノプリント技術に関する国際会議が開催され光硬化型ナノプリントに関する報告が多数あった。熱ナノプリントに関しては既にNTT-ATが金型試作ビジネスを立ち上げている。このような情勢から判断し、光硬化型ナノプリントに関しても光ナノ金型に関する需要は今後研究分野等から急速に立ち上がる可能性がある。