

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 | 学校法人立命館 | 代表者名 | 川本八郎 | 所在地 | 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 Tel : 077-561-2802 |
|-------------|---------|------|------|-----|--|

管理番号 15K-12
技術分野 金型分野
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 超微細構造部品成形加工技術
テーマ名 先端光学デバイス創製用 SR 光ナノフォーミング金型の開発
研究開発期間 平成 15 年 8 月 7 日から平成 16 年 2 月 27 日

1. 委託事業実施の背景と委託事業の概要

高度情報社会への急速な移行に伴い、光学素子、光通信部品および光情報デバイスの高精度、高機能化が求められている。製品に求められる特性としては寸法精度、面粗度が挙げられる。

これらの要求を満たす製品を量産するための金型は、NC による精密機械加工法を中心として加工限界への挑戦がなされている。しかしながら、この加工法では最終製品で要求される寸法精度、面粗度に限界が見えつつある。一方、光リソグラフィーを応用して精密加工する方法も開発が進められ、要求される寸法精度、面粗度が向上しつつあり、精密機械加工法での精度の限界を凌駕する次世代加工方法として注目されつつある。この中でも、SR (シンクロトロン放射) 光リソグラフィーはナノメートル領域の寸法精度、面粗度が得られることから期待されている。

この光リソグラフィーより得られた型材料は樹脂であるため、製品の量産化を実現するためには耐久性の高い金型の作製が必要となる。現在、ニッケル電鍍金型が利用されているが、硬度・引張強度などの機械的特性が低いため耐久性に問題があり、新たな電鍍金型材料が望まれている。

機械的特性を向上させるために、ニッケル系合金の電鍍技術への応用が検討されているが、特に、ニッケル-鉄系合金は残留応力が大きい等の理由から電鍍金型への実施例は見当たらない。

本委託事業では、SR 光リソグラフィーによる高精度の母型作製技術の開発、および高転写性を有する低残留応力のニッケル-鉄系合金電鍍技術により、高精度・高強度電鍍金型の作製技術の研究開発を実施し、光学素子、光通信部品および光情報デバイスの高精度、高機能化を実現する。

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

1) SR 光による超精密母型の開発

従来の光学素子、光通信部品および光情報デバイスの製造に用いられる金型に関しては、NC による機械加工技術やレーザー加工技術が用いられているが、精度がパターン寸法：1 μ m 以上、面粗度：数百 nm と大きく光学部品の高精度化を図る上で障壁となっている。

本委託事業では、「SR 光 X 線リソグラフィーによる微細パターン作製技術」を応用し、パターン寸法：1 μ m 以下、面粗度：50nm 以下、アスペクト比：10 以上の高精度 3D 複雑形状を有する超精密金型母型を作製する技術を開発する点で新規性・独創性を有している。

2) 電鍍膜の高機能化

従来のニッケル電鍍膜は、硬度 HV：200~230、引張強度：400~500MPa であり、今後の多様化に対応した金型の耐久性の面でさらなる高強度の電鍍膜が必要とされている。これに対し、本委託事業では、硬度 HV：400~550、引張強度：700~1,500MPa の機械的特性を有する、低残留応力のニッケル-鉄系合金電鍍膜を用いることにより、従来技術に比べ硬度：2 倍、引張強度：1.7~3.2 倍の機械的特性を有する電鍍膜の作製技術を開発し、電鍍金型の耐久性を向上させることを目的とする。この電鍍技術は転写性にも優れていることから、SR 光 X 線リソグラフィーにより作製した母型のナノ精度を保ったまま電鍍金型に転写することが可能である。

さらに、ニッケル-鉄系合金電鍍膜にセラミックス等の硬質超微粒子を分散させる技術を検討し、高機能化 (高強度化・高耐久性) を図り、10 万ショット以上のプラスチック射出成形及び PIM (粉末射出成形) に耐え得る電鍍金型の作製を実現することから新規性・独創性を有している。

3) 超精密電鍍金型の開発

ナノ精度の面粗度を有する母型上への電鍍には、「前処理 (導電物質を表面に付与) 技術」が不可欠である。現在の前処理には一般的に蒸着法が用いられており、ナノ精度及び高アスペクト比母型上へ導電物質を付与するには限界がある。本委託事業では湿式法である「キャタリスト法」を改良し、SR 光 X 線リソグラフィーで作製された「ナノ精度」を有する母型に対してその精度を保持しながらニッケル-鉄系合金電鍍技術の開発を行う。本委託事業で用いるニッケル-鉄系合金電鍍技術は、低残留応力で高硬度を有する合金電鍍膜が得られる特徴を有しており、これまで実施例のない電鍍金型への用途開発を実施することから新規性・独創性を有している。

(2) 技術目標値

- 1) SR 光 X 線リソグラフィーによる超精密母型
パターン寸法：1 μ m 以下、面粗度：50nm 以下、アスペクト比：10 以上
- 2) 超精密電鍍金型の機械的特性
硬度 HV:400~550、引張強度：700~1,500MPa

[各製品の必要スペック]

| 要求項目 | 多波長対応型回折光学素子 | 光通信用合分波器 | PIM 光情報デバイス部品 |
|--------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 平坦度 | 0.5 μ m/mm 以内 | | |
| ピッチ幅 | 3 μ m \pm 2%以内 | 1.26 μ m \pm 3%以内 | |
| 溝幅 | 1.5 μ m \pm 5%以内 | | (孔間隔)100 μ m 以下(目標) |
| アスペクト比 | 1 以上 | | 10 以上 |
| 面粗度 | | 10~50nm | 1 μ m 以下 |
| パターン高さ | | 600nm \pm 10%以内 | |
| 硬度 | HV500 以上(*) | | HV500 以上(*) |
| 耐久性 | | 10 万ショット以上(*) | |

*印は製品を成形するための金型のスペックになる

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

光学素子、光通信部品および光情報デバイスの製造に用いられる金型に関しては、NC による機械加工技術やレーザー加工技術が用いられているが、これらの技術により得られる精度は 1 μ m 以上、面粗度に関しては数百 nm と大きく、光学部品の高精度化を図る上で課題となっている。

この根拠としては、特許(特開 2001-018108、特開 2000-326101、特開 2000-263310)からも見られるように NC 多軸加工機を用いる機械加工が行われているが、形状や加工精度の面より生産効率が向上せず、製造コストが高止まりし、今後急激に拡大するニーズに対応できない。特開 07-104106 では非球面レンズの製造方法として光リソグラフィーを用いて母型の製造を図っているが、金型までの精度を言及するには至っていない。また、特開 2000-317948 では光ファイバーコネクタ用金型を、SR 光を利用した LIGA プロセスで製造することが記載されているが、金型には LIGA プロセスで得られた樹脂成形体をそのまま用いるため耐久性が低く、実際の量産に対応できる金型とは言えない。

本委託事業においては、高精度を有する母型を製作するために SR 光 X 線リソグラフィーを用い、量産に対応するべく高強度化を図るために、ニッケル-鉄系合金電鍍技術を用いることで前段の課題に対し解決を図る。

この解決方法は、立命館大学が保持する技術シーズである「SR 光 X 線リソグラフィーによる微細パターン作製技術」を応用し、ナノ精度を有する微細パターン・高アスペクト比の超精密母型の作製プロセスを高度化できる見通し、さらにニッケル-鉄系合金電鍍膜は従来のニッケル電鍍膜に比べ硬度が 2 倍、引張強度が 1.7~3.2 倍と機械的特性が優れていることから、これを上述の超精密母型へ電鍍する技術を開発すれば高い耐久性を有する金型が開発できる、という基礎的検討結果に基づいている。

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)

平成 15 年度の研究開発は、高精度を有する母型を製作するために SR 光 X 線リソグラフィーによりテストパターン母型の製作を行い、さらにそれを用いて電鍍金型の高強度化を図るためにニッケル-鉄系合金電鍍技術の工業化技術の確立を目標とした。この取組みは、ニッケル-鉄系合金電鍍膜は従来のニッケル電鍍膜に比べ硬度が 2 倍、引張強度が 1.7~3.2 倍と機械的特性が優れていることから、これを上述の超精密母型へ電鍍する技術を開発すれば高い耐久性を有する金型が開発できる、という基礎的検討の結果による。その手法として、以下の 5 業務区分により実施した。

[業務区分 A] 母型構造体の設計および X 線マスクの設計・製作を実施し、スピンコート法およびボンディング法でレジストを作成し、テストパターンマスクを用いて母型の作製を行いその形状評価を実施した。

[業務区分 B] 電鍍浴の組成・管理技術の確立、電鍍の工業化技術の確立、電鍍膜の機械的特性の評価を行い、電鍍膜の高機能化を達成した。

[業務区分 C] 電鍍金型の特性評価・検証、母型前処理技術の確立、テストパターン電鍍金型の試作、離型技術の確立を行い、超精密電鍍金型の開発の基礎技術を確立した。

[業務区分 D] 成形材料の試作、および試作材料で混練・焼結・評価を行い、プラスチックおよび PIM (粉末射出成形)による成形プロセスの研究を行った。射出成形・評価のための電鍍金型を挿入するモールドベースの作製を行った。

[業務区分 E] 応用試作品を実用化するために必要な電鍍金型のスペックを調査・把握し、各業務区分に反映させるよう協議を行った。

平成 15 年度の技術目標値は、全体計画における最終目標値の下限值を設定した。これは具体的実用化製品の必要スペックを満足させる最低水準である。

1) SR 光 X 線リソグラフィーによる超精密母型

パターン寸法：1 μ m、面粗度：50nm、アスペクト比：10

2) 超精密電鍍金型の機械的特性

硬度 HV：400 以上、引張強度：700MPa 以上

SR 光による露光・現像条件を検討し作製したテストパターン母型を形状評価した結果、上記 1) の技術目標値達成を確認できた。また、超精密電鍍金型の機械的特性は、電鍍浴の組成・管理技術の確立および電鍍の工業化技術の確立、等の実施項目を実施した結果、上記 2) の技術目標値を達成した。

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

本委託事業では事業化対象製品として「多波長対応型回折格子」「光通信用合分波器」「PIM 光情報デバイス部品」の 3 種を想定している。

(1) 多波長対応型回折格子

実施計画書策定段階に比べて市場動向の変化は認められない。

(2) 光通信用合分波器

光通信市場は北米市場が未だ底から脱しきれておらず、非常に低水準の需要であり、現状では 2004 年、2005 年もあまり状況は変わらないといった予測がされている。また、国内においても 2003 年年初には FTTH 加入者数が加速的に伸びて、100 万加入を大きく超えるといった予想もされていたが、現実には 2003 年下期に入り加入者数の伸び率が低下して、100 万加入を超えるかどうか微妙な状況である。このように、国内国外共に本市場については正直なところ予断を許さない状況におかれている。

かかる状況のため、今回のプロジェクトで開発中の回折格子についても当初提出した予想を大きく下方修正しなければならない。具体的には当初 H18 の数値が H20 もしくはそれ以上に遅れる可能性があると考えられる。

(3) PIM 光情報デバイス部品

光通信関連市場の中でもフェルル分野においては、海外で増産の傾向も見受けられ、新規需要の兆しが見える。しかし、デバイス部品全般における低価格化などの要因もあり、市場動向は依然として流動的な状況が続くと予想される。このような状況の中で、2002 年に市場が立ち上がった FTTH 分野によって新たな市場が創出される可能性もあり、事業化を取り巻く環境変化については、引き続き注視する必要がある。