

平成 17 年度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 (代表者氏名)	学校法人立命館 (理事長 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)	
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	研究開発課題	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	自：平成 17 年 4 月 1 日 至：平成 18 年 2 月 15 日	

1. 委託業務の概要

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ることから、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. 技術目標値

平成 15 年度 目標値 (実績)	平成 16 年度 目標値 (実績)	平成 17 年度 目標値 (実績)
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 (1 μ m) 面粗度：50nm 以下 (50nm) アスペクト比：10 以上 (10) 超精密電鍍金型の機械的特性 硬度 HV:400 ~ 500 (HV:400 ~ 500) 引張強度：700 ~ 1,500MPa (700 ~ 950MPa)	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：0.8 ~ 1 μ m (0.8 μ m) 面粗度：30 ~ 50nm (10nm) アスペクト比：10 ~ 11 (20) 超精密電鍍金型の機械的特性 硬度 HV:500 以上 (HV:500 ~ 550) 引張強度：1,000MPa 以上 (1,500 ~ 2,000MPa)	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：0.5 μ m (0.5 μ m) 面粗度：20nm (20nm) アスペクト比：20 以上 (20) 超精密電鍍金型の機械的特性 硬度 HV:500 ~ 550 (HV:500 ~ 550) 引張強度：1,500 ~ 2,000MPa (1,500 ~ 2,000MPa)

3. 目標値を達成するための解決策と具体的方法

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容易に対応できない。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、量産に対応でき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。

この解決方法の根拠として、立命館大学が保有する技術シーズの「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と考えた。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 2.1 ~ 2.7 倍、引張強度が 3 ~ 5 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。

4. 当該年度における技術目標値の達成状況と意義

【実施項目】SR光による母型の作製・評価

(1) 多波長対応型回折光学素子・光通信用合分派器を対象とした開発

スピコート法によるPMMAレジスト材を $2350\pm 40\text{nm}$ の厚さで制御し、露光・現像後の加工深さを $1900\pm 20\text{nm}$ 、幅 $800\pm 20\text{nm}$ で制御することに成功した。

また、SR光露光時の狭ギャップ化、スキャン軸の高精度化、高コントラスト化を図り、ブレード形状の微細構造体(ピッチ $1.490\mu\text{m}$ 、高さ $0.612\mu\text{m}$)を得ることに成功した。

(2) PIM製光情報デバイス部品を対象とした開発

複数回の露光・現像を行うプロセスを確立することにより、 $1500\mu\text{m}$ の深孔加工に成功した。

【実施項目】応用超精密電鍍金型の試作・評価

Ni-Fe合金電鍍の機械的特性の安定化・維持を目的に、電鍍浴の管理技術の確立に取り組んだ。また、樹脂母型への導電化処理を改善することにより、前処理剤の長寿命化と安定化技術を確立することができた。これにより、電鍍金型の機械的特性として、硬度HV:500~550、引張強度:1,500~2,000MPaの目標値を再現性よく達成することが可能となった。

これらの技術を用いて、多波長対応型回折光学素子・光通信用合分波器および多心フェルールの応用試作電鍍金型の作製を実施した。

【実施項目】PIMによる成形技術の実用化

Ni-Fe合金電鍍材を用いてダミーコアを作製し、ジルコニア材料の射出成形による電鍍金型の耐久性評価を行った。1000成形ショット後の成形体、焼結体の寸法を評価した結果、電鍍金型が欠損することなく、高い耐磨耗性を有することを確認した。また、成形体と焼結体の寸法を比較し、収縮率を評価した結果、ほぼ想定範囲内であったため、寸法制御性能が高い材料であることが確認された。

【実施項目】回折格子の応用試作・特性評価

SR光による応用試作母型作製・電鍍金型の作製・射出成形を実施した結果、応用試作ターゲットである微細パターン形状を作製することができた。ただし、射出成形時間を短縮すると、充填性が低下するため、成形品の転写性を向上させるための成形樹脂・充填材等の検討を行うとともに、成形条件の検討を詳細に行う必要がある。

【実施項目】PIM製光情報部品の応用試作・特性評価

クローバー形状を有する電鍍コアピンを用いてセラミックス射出成形を行った結果、孔径平均 $191.4\mu\text{m}$ で3芯クローバー形状を転写されていることを確認した。また、成形体と焼結体の寸法を比較したところ、26.9%の収縮率で成形できており、設計収縮率28.2%に対してほぼ目標通りの値を示していた。ただし、エッジ部分など細部については一部形状が転写されていない箇所が認められた。これは成形充填圧力が十分でないことが考えられ、細部への充填性を上げる成形条件を検討する必要がある。

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

(1) 多波長対応型回折光学素子

開発競争の激化により、同機能を有する競合光学素子が既に開発・量産化されている。これに伴い光学構成が大きく変化しており、当初の想定効果が薄れている。ピックアップの市場規模は8億7500万個に拡大しており、成長から成熟への過渡期で、以降は低成長率が長期化すると予想される。多波長光ピックアップを設計する上で同機能を有する光学素子は必要不可欠なパーツであるものの、光学構成を含む周辺環境の変化から、当初想定していた製品化は難しい状況にある。しかしながら、新光学素子の競合品に対する優位性（性能、コスト）を早期に実現することが出来れば、光学部品市場でのビジネス展望は開けると予想している。

(2) 光通信用合分波器

平成16年度実施計画書策定段階に比べて市場動向および事業化スケジュールについての変化はない。ただし、光通信関連のインフラ立上げが順調に推移しているため、市場には復調の兆しがある。

(3) PIM 光情報デバイス部品

粉末射出成形による光ファイバコネクタ用フェルールの市場規模は2000年売上で260億円、光コネクタ370億円である。市場規模は世界的にはITバブル崩壊後収縮傾向にあるが、日本、韓国を中心としたアジア圏ではファイバーツーザホーム（FTTH）の普及がADSLに取って代わり急拡大している。今回の製品においては特にFTTHで用いられる、多芯フェルールによるDWDMをメインターゲットとした製品である。製品化の見通しについては金型精度特に多芯フェルールの要となるピンの精度による所が大きい。本年の試験結果において、母型である樹脂による穴精度、並びにピッチ間の精度は当初予定した精度は得られており、最終年度において電鍍技術によりコアピンを再現良く作成することで、製品化は達成出来る見込みである。また、本研究を通じて光通信技術に用いられる微細部品のみならず、複雑微小部品を必要とする電子デバイス、医療機器部品においてもセラミックス並びに金属射出成形法により得ることが出来るものと考えている。これらの事から、本事業の波及効果が多方面に及ぶことが期待されている。