

## 2次元超微細加工による高機能光学素子の開発

2次元超微細加工技術研究Gリーダー  
菊田久雄（大阪府立大学）

### 1．研究の目的

テラ光情報処理・伝送システムに必要となる光集積素子の開発を目指して、平面上に波長オーダーの微細格子を作製する超精密超微細加工技術を開発する。この技術を用いて、光情報システム用の複合機能光学素子を作製する。また、これらの精密加工技術を使うことで、表面無反射構造などサブ波長構造をもつ光素子の実用化を目指す。

### 2．研究テーマの内容の概要説明

#### 研究目標・数値目標

回折光学素子を作製するための基礎技術の発展を図るとともに、実際に素子を試作する。具体的には、光情報システム用の波面変換素子の試作、カラー分解結像回折格子の試作を行う。また、素子の高効率化を図るために、ブレース格子の作製技術を確立し、90%以上の集光効率をもつ回折格子の作製を可能にする。その他、サブ波長構造の光素子の応用として、0.5%以下の反射率をもつ表面無反射構造や狭帯域波長フィルタ、偏光画像撮影素子等を試作し、光情報システムへの利用を目指す。また、これらの光学素子进行設計するためのソフトウェア開発を行う。

#### 研究概要

研究の取り組みは、大きく3つに分けることができる。第一は、高速パターン識別用空間位相フィルタをはじめとする光情報システム用の複合機能光学素子の試作、第二は、微細構造をもつ光素子の作製技術開発、および高効率回折光学素子やサブ波長構造光学素子の試作、第三は、それらを支えるシミュレータソフトや微細構造のパターンニング技術などの基盤技術開発である。

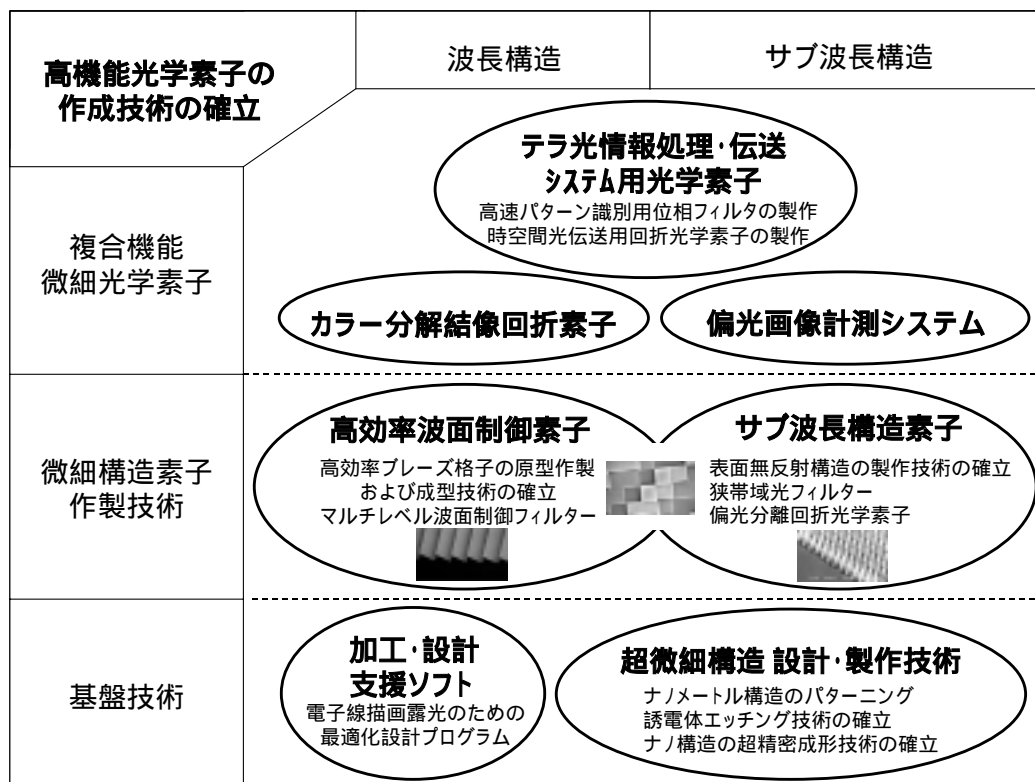


図 1 . 2次元超微細加工WGの取り組み

光情報システム用の複合機能光学素子の試作では、基板両面に微細加工を施した高速パターン識別用空間位相フィルタ、および時空間情報伝送システム用の高効率深溝回折格子の製作を行い、試作システムのキーデバイスとして実際に使用された。

その他の光システム用の素子として、分光画像計測システムのための結像分光回折格子や、偏光画像計測システムのための構造複屈折位相板アレイ素子を作製した。また、これらの素子を使って、考案の分光画像計測装置および偏光画像計測装置を試作し、考案したシステムの原理検証を行った。

素子の作製技術開発では、ブレース形状をもつ高効率回折光学素子の作製・量産化に関する研究開発が進められた。原器レベルでは90%以上の回折効率のものが得られるとともに、成型用金型の作製、形状転写を含めた、量産化のための一連の作製技術が確立された。

その他、サブ波長の周期構造をもつ光素子の研究開発に成果があった。表面無反射構造をはじめとするナノ構造の作製技術の開発、新しい偏向素子や狭帯域波長フィルタの考案と試作を行った。

微細加工の基礎技術開発については、電子線露光における近接効果補正の自動最適化シミュレータの開発、ナノ構造の超精密成形技術の開発、新しい電子線レジストの開発に成果があった。

#### 技術動向

現在の回折格子の研究開発には二つの流れがある。一つは光の波長より長い周期をもつ回折格子であり、技術開発の関心は「高効率化」と「量産技術の確立」にある。

このような素子の主たる目的は、従来のレンズやプリズムからの置き換えによる、小型化、軽量化である。

もう一つの流れは、波長と同程度または波長より短い周期の構造をもつ光素子の開発である。光共鳴現象や構造複屈折による様々な新機能の光素子が提案されている。これについては比較的新しい分野であり、機能素子のための構造の考案と微細加工技術の発達に関連しながら急速に発達している。

### 3. 5年間での研究成果報告

「テラ光情報処理・伝送システムの研究開発」において必要な光学素子の試作では、基板両面に微細加工を施した高速パターン識別用空間位相フィルタ、および時空間情報伝送システム用の高効率深溝回折格子の試作を行った。図2(a)は、作製された空間位相フィルタである。白丸部が回折レンズであり、その反対面にはピンホールと図中の四角部にあるような8レベルの凹凸形状をもつ位相フィルタ部がある。フィルタ数は計12個の構成である。(b)は時空間情報伝送システム用のために試作された高効率回折格子アレイである。一枚の基板上に周期の異なる回折格子が配列する形で作り込まれている。いずれの素子も、実際のシステムに組み込まれ、十分な性能をもって機能している。

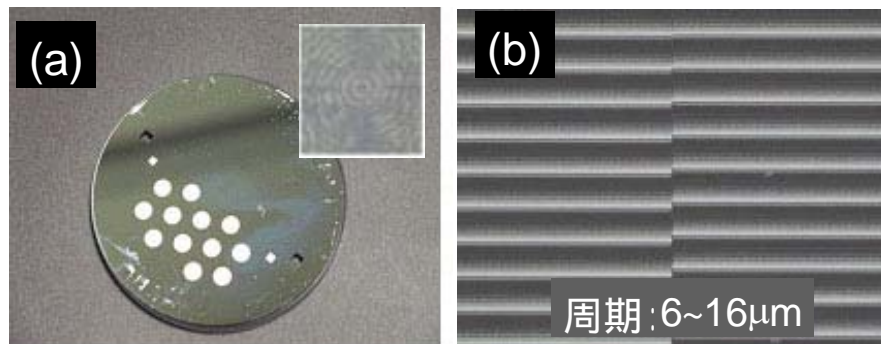


図2. 光情報システム用の光学素子 (a) 高速パターン識別システム用空間位相フィルタ、(b)時空間情報伝送システム用回折格子

図3は、小型分光画像計測システムのための分光デバイス部分の写真である。回折格子は、光ファイバからの光を CCD 上で結像させるように、周期だけでなく溝方向についても場所的に変化する複雑な構造になっている。

高機能な回折型光素子の作製技術を確立することも重要なテーマであった。電子線描画において、電子線ドーズ量を制御することで、レジストのブレース格子を作製し、貴金

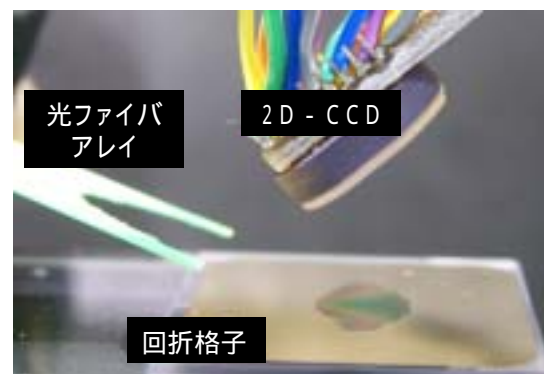


図3. 小型分光画像計測システムの分光デバイス部

属やニッケル製の金型を試作、成形による形状転写を行った。図4 (a)は光ディスクのピックアップレンズを回折レンズで置き換えることを想定して試作されたゾーンプレートレンズである。レンズ径は約 3mm、集光効率はや 93%であった。原器であるが、光ディスクヘッドの仕様を満している。(b)はプラスチック高効率回折格子の

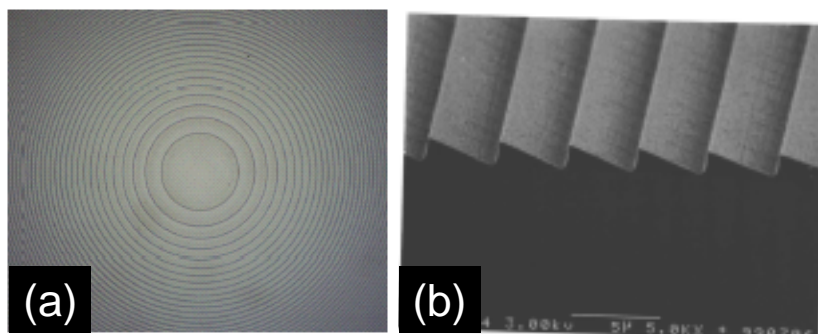


図4 . 電子線直接描画によって作製されたレジスト高効率回折格子 (a)光ディスク用ゾーンプレートレンズ (b)ドーズ変調によって作製されたブレース格子の断面例 (周期 4 $\mu$ m)

ためのレジスト原器である。電子線ドーズ量制御により、良好なブレース格子の断面形状が得られている。また、このレジスト形状をもとに金型を起し、成形による形状転写を行ったところ、良好な複製品が得られることが確認された。なお、ガラス成型用金型には貴金属金型を、プラスチック成型用にはニッケル金型を使用した。

その他、ブレース格子の周期が数 $\mu$ m より短くなると回折効率が極端に減少することが知られている。これを解消するために、格子の凹凸を高くする方法や、格子断面がブレース以外の形状をもつ格子で高効率化をはかる方法を考案した。また、このような素子を実際に試作し、高い回折効率が得られることを実証した。

サブ波長の周期構造を持つ光素子についても多くの成果があった。図5は、石英基板上の金属薄膜をマスクに用いて、高密度プラズマエッチングで作製した表面無反射構造である。周期 250nm、高さ 750nm の石英の微小円錐列が出来上がっている。可視光すべての領域にわたって、表面反射率を 0.5%以下にすることができた。この円錐の高さは、金属薄膜やエッチング条件を変えることで制御可能である。また、同様の手法でシリコン基板についても同じような円錐形状を作製することが出来る。

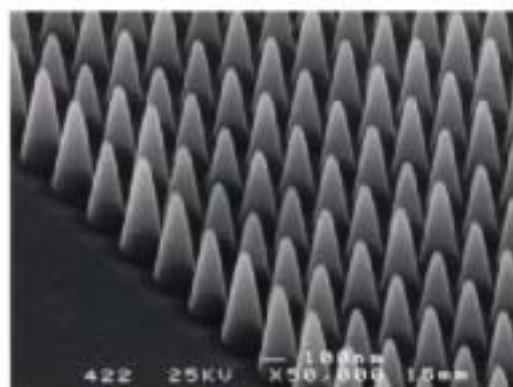


図5 . 高密度プラズマエッチングによって作製された表面無反射構造

狭帯域波長フィルタについては、高機能化のための幾つかの新しい提案を行った。光通信用波長分岐フィルタを目指して、斜め入射系での無偏光化のための構造の考案、表面無反射構造を利用した低サイドバンド化

による波長選択効率の向上、フィルタサイズ微小化のための2重周期構造の設計と光閉じ込め効果の確認などである。数値計算と試作・実験により、これらの効果を確かめた。

素子作製の基盤技術開発では、ナノ構造の超精密成形で成果があった。200nmのL&S構造をアクリル樹脂に転写したところ、1.2 $\mu$ mの高さをもつ構造が作製できた。また、サブ波長のパターンニングのために、マスクと基板を密着させて近接場露光する方法の可能性と限界について検討を行い、波長の半分程度のパターンニングが可能なことを明らかにした。

#### 4．研究目標に対する達成度

個々の目標に対しては、下記のように、すべての項目で当初目標を達成できた。

最重要な課題であった「光情報システム用の光素子の試作」については、実際のシステムで機能する素子を作製することができた。

また、カラー分解結像回折格子についても作製され、これを用いた小型分光画像計測装置のプロトタイプが試作できている。

高効率回折格子の作製技術開発では、原器レベルで90%以上の集光効率をもつ回折格子が作製されており、形状転写を含めた一連の量産技術について見通しを立てることが出来た。

サブ波長構造の光素子の応用として、開発した表面無反射構造では0.5%以下の反射率をもつものを作製することができた。

狭帯域波長フィルタの高機能化、および濃度センサとしての利用の提案と原理検証実験を行った

構造複屈折を利用した微小波長板アレイを用いて偏光画像撮影システムを試作し、実際に偏光画像が得られることを示した。

電子線散乱の近接効果補正を取り入れた回折格子の最適形状設計プログラムを開発した。

#### 5．成果活用に関する報告

本研究グループからは20件の特許出願が行われた。(内、5件が審査請求中)これらのうち、13件は新しい光学素子の提案であり、7件が製造技術に関連するものである。今後は、光技術分野の技術動向を見ながら、未審査請求分についての取り扱いを決めていく。

#### 6．フェーズIII(5年終了以降)の取り組みの予定

「光情報システム用の光素子の試作」に関する成果活用については、各システム研究グループの報告書を参考にされたい。

高効率回折光学素子の作製技術については、企業研究者を中心として研究開発が進

められ、ノウハウ的な性格の成果が主であった。今後は各社の製造技術として製品に反映されるであろう。

表面無反射構造については、文部科学省平成13年度補正事業で実用化に向けた研究開発を特別に行った。ここでは、金型、転写を含めた量産化技術の開発に取り組み、実用化のための課題を明らかにした。

表面無反射構造を含めて、本事業で成果のあったサブ波長構造光素子の研究開発を中心に、平成14年9月から都市エリア産学官共同連携事業（大阪/和泉エリア）で更なる展開をはかる。表面無反射構造については製品化を目標に、平面上への構造作製だけでなく、レンズ等の曲面上への構造作製に取り組む。

## 7. まとめ

「光情報システム用の光素子の試作」を目標に、光学素子を作製するための微細加工技術の研究開発を行ってきた。その結果、上記の目的だけでなく、様々な機能をもった新しい光学素子の考案と、それらを作製するための新しい加工技術の開発がなされた。とくに、表面反射防止構造については、多くの企業の関心を引き、事業化への中心課題になっている。その他、情報端末や光通信分野に関連する素子の考案もなされており、今後の展開が期待される。

この5年間で、本研究グループは、回折光学素子についての国内随一の研究開発拠点になり、また、世界有数の研究グループとして広く認識されるようになった。この事業では、光学を専門とする研究技術者と微細加工を専門とする研究技術者の協力体制が巧く機能し、数年の間に、上記の評価を得るに至った。また、研究者間のネットワークが確立したことで、高いレベルで議論や協力が行える環境が出来上がった。