

先進熱可塑性樹脂による、コパッケージドオプティクス向けマイクロレンズアレイの実現

ガブリエ・フーグランド、カミル・グラドコフスキ

コパッケージドオプティクス技術を大規模に実用化するには、マイクロレンズアレイの耐熱性マイクロ光学部品としての量産化と、精密組立技術が不可欠である。その鍵を握るのが、熱可塑性樹脂である。

人工知能(AI)、モノのインターネット(IoT)、5Gネットワークをはじめとするデジタル技術の急速な普及によって、かつてない規模のデータ通信量が生み出されている。その結果、より高速な伝送速度とより大容量の帯域幅が求められている。従来の電子式インターネットでは、とりわけ現在必要とされるデータ速度と密度に対応しきれていない。こうした状況に対応するため、通信業界では高性能で省エネルギー、かつ持続可能な光データ通信シ

ステムの開発が加速されている。

有望な解決策の1つとして、プラガブル光モジュールをコパッケージドオプティクス(CPO)に移行する技術が挙げられる。これは、光学部品をプリント基板(PCB)上に、特定用途向け集積回路(ASIC)スイッチや他の電子集積回路(IC)に近接、あるいは直接隣接して配置する技術である。CPOの場合、データセンター内で光電データ変換機能をASICスイッチに可能な限り近接させることで、帯域幅が大幅に向

上し、データセンターのエネルギー効率も劇的に向上する。

しかし、光学インターフェースをチップやフォトニック集積回路(PIC)に移行させると、新たな課題が生じる。特に重大なのは、PCBの実装時に使用されるリフローはんだ付けの高温(最大260°C)に、あらゆる光学部品が耐えなければならない点である。このため、光学部品(特にレンズ)の製造に適した材料の選択肢は制限される。

PIC、光ファイバ、センサへの入出射光カップリング(結合)の効率性は、中核的な課題となっている。その解決策の1つとして、マイクロレンズアレイ(MLA)が挙げられる。MLAは、基板上に配置された格子状の複数の小レンズ(レンズレット)から構成されている。MLAは効率的な光カップリングを実現するとともに、非接触型の自由空間光学インターフェースに対応する。しかし、MLAを大規模に実用化するには、耐熱性マイクロ光学部品として量産化し、精密に組み立てる技術が不可欠である。

MLAに最適な材料の選択

現在、MLAの大半は、フェューズドシリカまたはシリコンウエハのエッチングによって製造されている。このウエハ規模のプロセスは厳密に制御されており、バッチ処理による高精度な複製が可能である。しかし、レンズ設計から完成品までの工程は極めてコスト

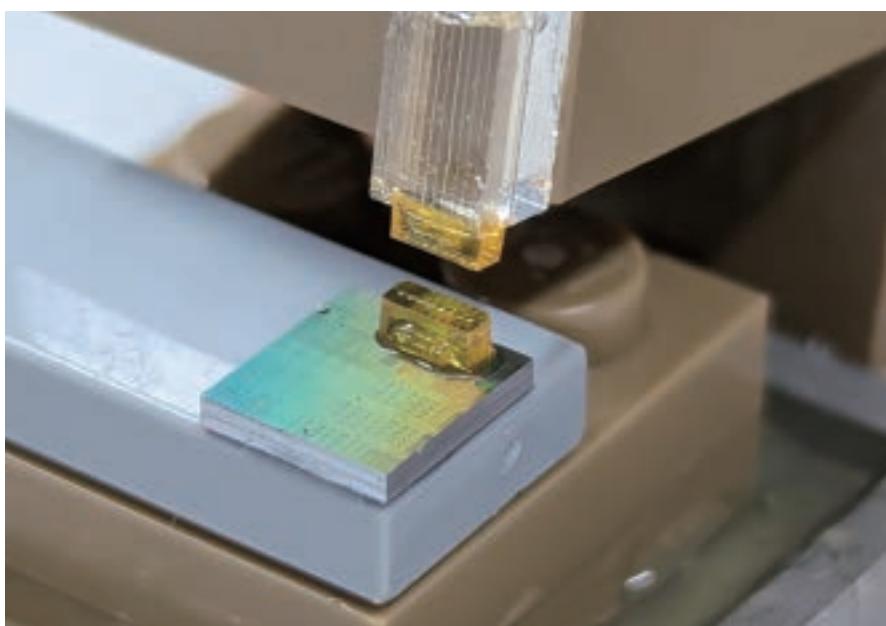


図1 SABIC社およびティンダル国立研究所が開発した表面グレーティングカプラのデモンストレータ(画像提供:SABIC社およびティンダル国立研究所)

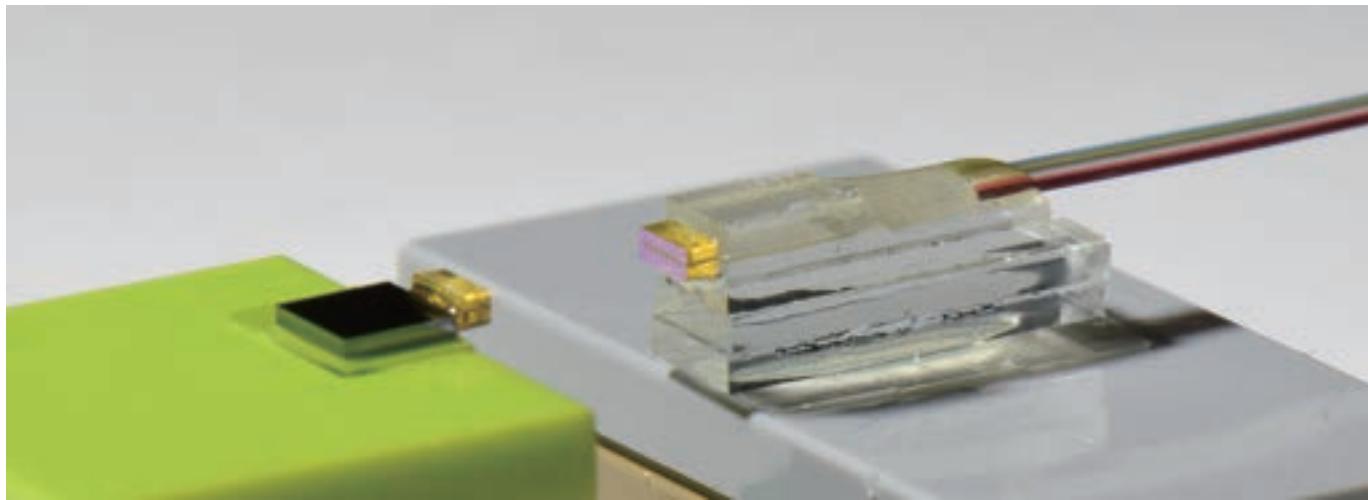


図2 SABIC社およびティンダル国立研究所が開発したエッジカプラのデモンストレータ(画像提供:SABIC社およびティンダル国立研究所)

と時間を要するものであり、特に複雑な設計の場合には量産化の障壁となっている。

比較的単純なレンズ形状の場合、エポキシなどの熱硬化性樹脂を使用できるが、硬化時間の長さや硬化後の耐熱性の限界が課題として残る。有機ポリマーを用いた高解像度マイクロオプティクス(微小光学素子)の印刷技術として、二光子重合法などが開発されているが、このようなソリューションも量産性、熱安定性、屈折率範囲のいずれか、または複数において制限がある。

マイクロ射出成形技術は、MLAを製造する上で、画期的な代替技術として注目されている。この手法により、複雑かつ精密なマイクロ光学部品を、極めて高い一貫性、速度、量産性、コスト効率で大量生産できる。

また、マイクロ射出成形技術を用いると、レンズウエハ全体を製造する必要がなく、プロトタイプ用に少量ロットのレンズ生産も可能である。ほぼあらゆる厚みのレンズを成形できるため、従来のウエハ厚に縛られずにレンズを設計できるのだ。さらに、アライメント用の基準マーカーやピンといったマイクロ光学機能もまた、容易に組み込

むことができる。パッシブ光学アライメントを容易にする統合機能は、アクティブアライメント方式と比較して、組立時間とコストの削減が可能である。

ポリエーテルイミド(PEI)、ポリメチルメタクリレート(PMMA)、シクロオレフィンコポリマー(COC)、ポリカーボネート(PC)は、複雑な形状のレンズやアレイを大量に射出成形する際に広く用いられる熱可塑性樹脂である。PEI系材料であるULTEM樹脂は、プラガブルトランシーバや拡張ビームコネクタなどの用途に使用されるMLAの有力候補となっている。

このような熱可塑性樹脂の中から材料を選定する際には、組立工程も考慮する必要がある。光学部品は、例えばリフローはんだ付け時など、高温にさらされる場合がある。この種の光学部品に用いる材料は、こうした熱条件下でも寸法精度を維持できるものでなければならない。光学レンズアレイを最終的なPCB実装前に組み立て、リフローはんだ付け時に最大260°Cの高温にさらす場合、光学部品に使用される熱可塑性樹脂は少なくとも260°C超の荷重たわみ温度を有している必要がある。

1つの課題は、多くの熱可塑性樹脂

が260°Cに達する温度にさらされると変形または融解してしまうため、リフローはんだ付けを用いたCPOシステムの組み立てに求められる新たな要件を満たせない点だ。この課題に対応すべく、サウジ基礎産業公社(SABIC)は熱可塑性ポリイミド(PI)材料であるEXTEM RH1017 UCL樹脂を開発した。当社の同樹脂は近赤外(NIR)透過性を有し、ガラス転移温度は260°Cを大きく上回る。このため、リフローはんだ付けによる組み立てで使用されるマイクロ光学部品の量産に適した材料として、業界で実用的な選択肢となる。

熱可塑性MLAによる安定した光カップリング

SABIC社のポリイミド(PI)材料を用いることで、フォトニックシステムの統合が可能になる。同材料を用いたMLAでは、効率性の高い光学カップリングを実現でき、加水劣化や熱衝撃といった極めて厳しい業界試験においても優れた性能が維持される。MLA自体はパッシブ光学要素であるが、光カップリングにおいて重要な役割を担っている。熱可塑性MLAの場合、光ファイバ、導波路、センサ、フォトニ

ックチップ間の光カップリングが、表面実装技術(SMT)によるリフロー後であっても正確かつ安定して保持される。光ビームが拡大されることで、パッケージング時の位置公差が拡大されるため、CPOシステムの実用化における重大な障壁が解消される。

さらに、同MLAによって実現する自由空間光学インターフェースでは、光ファイバを直接物理的に接触させる方法と比較して機械的応力が低減されるため、組立工程の簡略化および信頼性の向上に寄与する。

ケーススタディ #1: コパッケージドオプティクス技術 を用いた光インターネット

SABIC社は、欧州の統合ICT材料・デバイス・システム研究拠点であるアイルランドのティンダル国立研究所(Tyndall National Institute)と共同で、CPOにおける光インターネット向け射出成形PI樹脂の実現可能性および利点を実証するため、MLAを導波路ループ付きPIC上に実装した設計でサーフェスカプラとエッジカプラを構築した(それぞれ図1および図2)。この設計では、2つのMLAを用いてファイバアレイユニットとPIC間でシングルモード光ビームを拡大させた。

SABIC社の新樹脂を用いて、ピッチ $250\mu\text{m}$ の8つのレンズで構成されるシングルモード対応MLAを製造した。この寸法は、光インターフェースで一般的に用いられる標準的な8ファイバコネクタアレイに適合する。射出成形技術によって、このような小型部品を高精度で製造できることは、精密性と射出成形技術の量産性を融合させた画期的な進歩を示している。

MLAの実用性を実証するため、MLAを用いてビーム拡大光学要素を

構築した。同光学要素を光コネクタインターフェースの両側に光学用透明粘着剤で固定し、ファイバアレイがより大きな自由空間ビームでPICにカップリングするよう設計した。この手法により、横方向の位置公差が緩和され、ほこりなどの微粒子による遮蔽リスクも低減される。

同MLAの場合、 260°C のリフローはんだ付けサイクルを複数回実施した後であっても、寸法および光学性能を維持した。このような耐久性は、SMTベースの電子組立ラインへの統合において極めて重要である。

極めて高密度の光入出射には、ファイバカップリング構造の効率性が不可欠である。一般に、カップリング構造にはグレーティングカプラとエッジカプラの2種類が存在する。それぞれ固有の利点と欠点があるため、2種類のデモンストレータを構築した。両デモンストレータでは、ファイバアレイとPICを別々のブリックに接着し、50回の接続・切断サイクルでプラガビリティを評価した。

両構成とも、25ギガボートレートにおいて安定したアイダイアグラムを実現し、50回の接続／切断サイクルにおけるカプラあたりの平均カップリング損失は 2.2dB を示した。これらの結果は、多くの高速フォトニックインターネットの実用要件を満たすか、上回るものである。

ケーススタディ #2: MLAの自動アライメント

前述のデモンストレータをはじめ多くのCPOパッケージングやアライメン

ト工程では、エポキシなどの光学用接着剤が使用されている。蘭チップインテグレーションテクノロジーセンター(CITC:Chip Integration Technology Center)と共同開発したプロセスでは、MLAの光学アライメントに代替のインターネット技術を採用している。この技術では、PIC上のコンプライアント金属パッドと接触するMLAの特定領域を金属化する。SAC305リフロー工程中に、MLAとPIC基板の自動アライメントが実現する。この新たな光パッケージング手法は、長期安定性の欠如や熱膨張係数(CTE)の不一致といった欠点を持つ従来のエポキシ接着剤を代替できる。

光学アレイ生産の量産化

マイクロ成形技術および高耐熱性特種熱可塑性樹脂を導入すれば、光学アレイの量産化は、大規模生産に適したスケーラブルな形で、かつ許容可能なコスト水準で推進できる。さらに、射出成形技術によって、パッシブ光学アライメントを容易にする機能の統合も可能となり、アクティブアライメント方式と比較して、組立時間とコストの削減も実現する。

マイクロ成形オプティクスの他の利点としては、設計イノベーションを加速させる迅速なプロトタイプ制作や、確立された材料特性と成形技術に基づく光学設計および性能を標準化する機会が挙げられる。総括すると、このような進歩によって、光通信およびセンシング産業におけるコパッケージドオプティクスやオンボードオプティクスへの移行を迅速化できる。

著者紹介

ガブリエ・フーグランド(Gabrie Hoogland)は蘭SABIC社ポリマー部門の主任科学者、カミル・グラドコフスキ(Kamil Gradkowski)はアイルランドのティンダル国立研究所の上級研究員。

URL: www.sabic.com www.tyndall.ie