

Siレンズを用いた 低コストFTTH用 μ BOSAチップ

小谷 恭子
前野 仁典

関川 亮
上川 真弘

志村 大輔
佐々木 浩紀

ポストADSLのブロードバンドサービスとしてユーザー宅までを光ファイバで結ぶFTTH（Fiber To The Home）が急速に普及してきている。各家庭まで引かれた一本の光ファイバの終端にはONU（Optical Network Unit）と呼ばれる終端装置が接続されるが、ONUの原価構成で高い割合を占める光信号と電気信号との変換をつかさどるBOSA（Bi-directional Optical Sub-Assembly）の低価格が強く望まれている。我々はその実現に向けて、LSIの製造技術を用いて作製されたSiレンズを搭載した μ BOSAチップ（マイクロボサチップ）を提案している¹⁾。

我々の提案する μ BOSAチップは、Siレンズとパッシブ実装技術を基盤として、シリコンオプティカルベンチ（SiOB）上にLD（Laser Diode）、PD（Photo Detector）チップなど送信、受信用の基幹素子をワンチップにハイブリッド集積し、部品点数と組立工数を削減することによりBOSAの低コスト化を実現する。

本報告では、 μ BOSAチップの基本構成と動作原理をSiレンズの特徴と共に説明した後、後述するパッシブ自動実装でのもの造りを支える光学設計技術、シミュレーション技術について説明する。 μ BOSAの組立歩留りに関するシミュレーション結果を紹介した後、 μ BOSAチップの試作および特性を実測した結果について報告する。

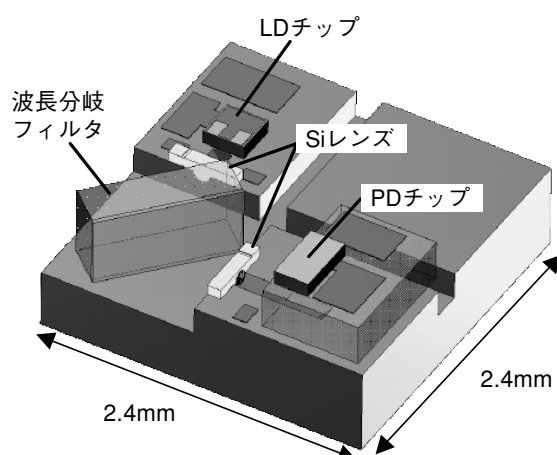


図1 μ BOSAチップの構成

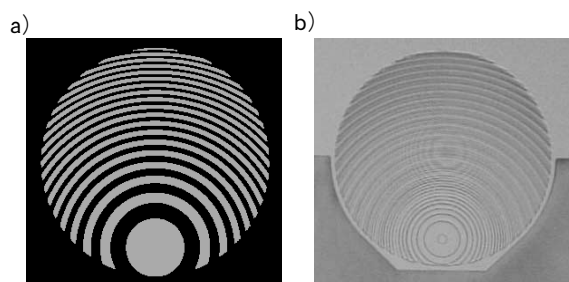


図2 Siレンズ

a) マスク設計パターン b) 作製したレンズパターン

μ BOSAチップの構造

図1に μ BOSAチップの概略図を示す。2.4mm角のSiOB上にSiレンズ¹⁾、送信用LDチップ、受信用PDチップ、および波長分岐フィルタをパッシブ搭載したものである。Siレンズは、LSIの作製に用いられるフォトリソグラフィとエッチング技術を用いて作製されるため、サブミクロンの高精度なレンズを安価に大量生産することが可能である。

レンズ部分は回折光学素子であり、エッチングにより形成されるため、マスクパターンを変えることで、通常の研磨型のレンズでは作製が難しい非球面形状や、軸ずれ型のレンズを自由に設計、作製することができる。たとえば、図2は、 μ BOSAチップに使用される軸ずれ型の

レンズである。また、Siレンズの外形状、SiOBのV溝形状は、共に、高精度なSiマイクロマシンの加工技術を用いて形成されるため、写真1のようにSiレンズとSiOB上のV溝との突き合わせにより自動位置合わせを行うことで、サブミクロンの精度で搭載することが可能である²⁾。

μ BOSAチップと光ファイバとの接続は、図3のように、光軸を合わせたボールレンズを介して行われる。送信側では、1.31 μ mのLD出射光がSiレンズにより平行光に変換され、波長分岐フィルタを透過した後、ボールレンズにより光ファイバに集光される。受信側では、1.49 μ mのファイバ出射光がボールレンズによりコリメート光に

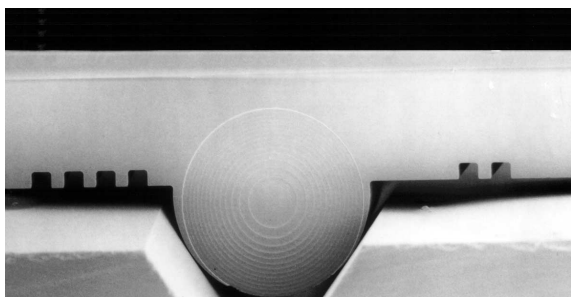


写真1 V溝上のSiレンズ

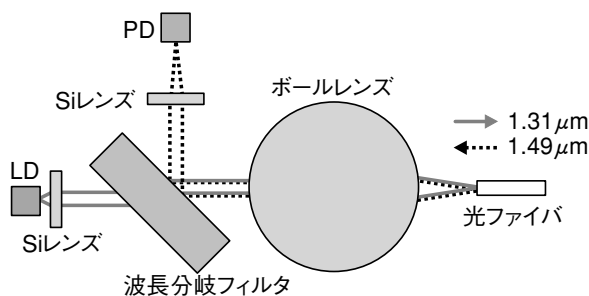


図3 μBOSAチップの構成

変換され、次に波長分岐フィルタ面での反射により90°偏向した光が、Siレンズにより集光され、面受光型PDで受光される。なお、ここで用いる2枚のSiレンズは、各々送信側、受信側において、最適な集光機能を持つように設計された異なるレンズである。

μBOSAチップの作製

μBOSAチップでは、安価に製造できるSiレンズ以外の主要光学素子、LD、PD、フィルタ類は全て汎用品であり、ペアチップの状態でSiOB上へまとめてパッシブ実装される。パッシブ実装とは、光を通さずに外形、アライメントマークの画像認識により自動的に光軸合わせをするものである。製造方法としては、SiレンズをSiOB上のV溝に精密搭載し樹脂固定した後に、LDチップをはんだにより固定する。PDチップは、SiOB上に設置したガラス基板上に搭載する。このガラス基板は、LDチップからのSiOBを介した電気的クロストークを遮蔽する目的で設置するものである。最後にSiOB上に波長分岐フィルタを搭載しμBOSAチップが作製される。

従来のBOSA部品では、これらの光学素子はそれぞれ別にパッケージされ、ハウジングを用いて組み合わせ、実際に光を通して各部品ごと送信、受信とを別々に光軸合わせを行っていた。この方法では部材点数が多いうえ、組

立の工数が掛かるため、低コスト化には限界があった。

μBOSAチップでは、光学素子をペアチップの状態でSiOB基板上に搭載するため、部品点数が半分以上になりコスト削減が可能である。また、従来手間のかかっていた各素子の光軸合わせも、画像認識による位置合わせで実現できるため、搭載を自動機で行うことが可能となる。さらに、μBOSAチップと光ファイバとの光軸合わせでは、送信側の光軸を合わせることで、受信側も自動的に光軸が決まり光軸合わせ回数も削減される。これにより、組立コストの削減も同時に実現でき、従来型のBOSAと比較して、大幅な低コスト化が実現できる。この方法で作製したμBOSAチップを写真2に示す。

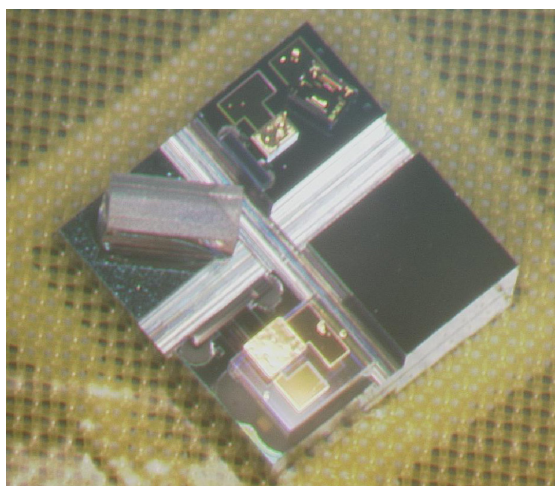


写真2 μBOSAチップの写真

設計およびシミュレーション

μBOSAチップにおける送受信光の調芯は素子の外形精度およびアライメントマークを用いたパッシブ実装技術を用いて行われる。このため、このμBOSAチップを光ファイバと接続したコンポーネントにおける送受信効率は、各部品の外形精度や実装精度の影響を大きく受けることとなる。

設計段階で、各部品の外形精度や実装精度と実装技術の最適解を求めることは、μBOSAチップのような複雑な光学系を持つ部品開発には必須な技術である。

ICの開発工程と同様に、設計段階で製造の最終段階の特性予測まで計算することにより、設計-試作-評価という一連の製造工程を、実際にものを作る前に短期間で決定することができる。具体的には、ウエハレベルでのレンズ作製から、V溝の精度、組立精度まで、あらゆる工程を反映させることで、歩留まりまで考慮した最終性能の予見が可能となり、開発期間の短縮が実現する。

実際のSiレンズの設計には、光学CADプログラムを用いている。実際のエッチング工程による影響を計算に反映できるデータベースを構築することで、実際に作製されるSiレンズのレンズ特性を高い精度で予測することができる。

設計精度確認の一例として、図4の光学系（LDからの出射光が2枚のコリメートレンズを経て、光ファイバへ集光される）を用いて、実験値と計算値の比較を行った。この光学系の結合効率、実験値で-3.0dBであり、シミュレーションから得られた-2.9dBと同等な値である。

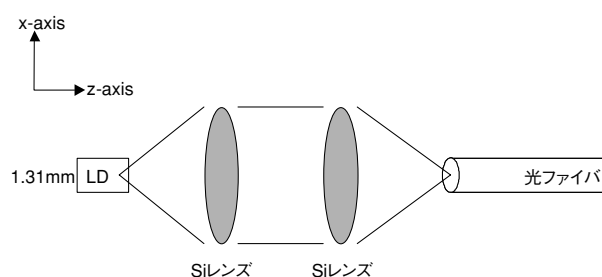


図4 LD-SMF結合系

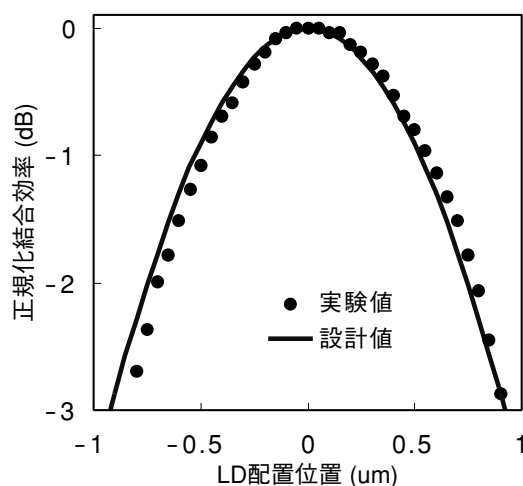


図5 LD配置誤差トレランス

また、LDの配置誤差トレランスの測定結果は図5の通りで、これについても計算値のカーブはよく一致している。

このような高精度なシミュレーション技術の活用により、複雑な光学系を持ち、パッシブ実装によって組み立てられるμBOSAチップの設計が可能となった。

また、各部品配置の設計に当たっては、それぞれの部品の外形誤差、配置誤差のデータから、その制約条件下で光学特性仕様を満たす設計を行うことで、最適位置の決定を行った。実際の組立においては、パッシブ実装で

作製されたμBOSAチップに対し、送信側の光学系でボールレンズと光ファイバをアクティブ調芯して固定する方法をとる。このアクティブ調芯の方法については、既存の汎用装置を用いてμBOSA特有の調芯を実施するため、シミュレーションによる検討を繰り返し、その方法を決定し、実際の装置上の条件を設計プログラムに反映させた。

組立歩留まりシミュレーション

我々の設計・シミュレーション環境では、モジュールを構成する各部品について、それぞれ実装上の誤差を考慮した光学系の光学特性の計算をn回繰り返すことにより、n個のモジュールを製造した場合の組立歩留まりシミュレーション（モンテカルロシミュレーション³⁾）が可能である。これまでの歩留まりシミュレーションでは、一方方向のみの光部品の歩留まりの計算しかできなかったが、CADプログラムの改良により、双方向モジュールの歩留まりシミュレーション法も構築し、μBOSAへの適用を行っている。

これにより、各部品の実装精度からμBOSAチップ量産時の組立歩留まりを予想することができ、現在の製造技術の条件下で組立歩留まりを計算すると、結果は図6の通りとなった。今回のμBOSAチップの製造では、仕様（送信側結合効率-5.0dB、受信側結合効率-1.6dB）を満たす組立歩留まりは、送信側で100%、受信側99%となることが予想できる。受信側の組立歩留まり100%の実現とさらなる低コスト化のために、部品の外形精度、実装精度の向上が重要となる。

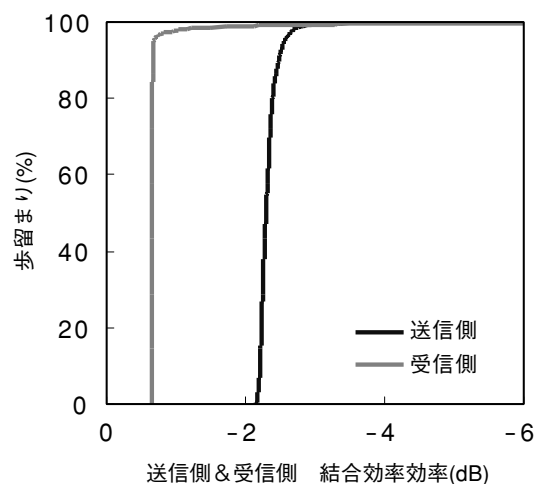


図6 モンテカルロシミュレーション

μBOSAチップの光学特性

試作したμBOSAチップについて、室温での静特性評価を行った。図3に示した構成でμBOSAチップ、ボールレンズ、光ファイバを設置し、LDを発光させてLD-ファイバ間でアクティブ調芯を行い、送信側の結合効率を測定した。次に、送信側の調芯が取れている状態で光ファイバから受信光を入射させ、受信側の結合効率を測定した。その結果、送信側結合効率−3.0dB、受信側結合効率−1.6dBとなり、LD-ファイバ間のアクティブ調芯のみで送信・受信ともに設計仕様を満たしていることが確認できた。

なお、このとき用いたボールレンズの調芯方法は上で述べた手法によるものであり、このように良好な特性が得られたことから、この手法の有効性も確認できた。

ま と め

FTTHサービスの普及のために求められているBOSAの低価格化実現のために、新たにSiレンズを搭載したμBOSAチップを提案した。2.4mm角の小型、低価格なμBOSAチップを、パッシブ実装により実際に作製し、その特性評価を行った。これにより、送信側結合効率−3.0dB、受信側結合効率−1.6dBとμBOSAチップが設計仕様を満たすこと確認した。また、量産時の組立歩留まりを予想するための、モンテカルロシミュレーションを行い、高歩留まりを得るための設計検討が可能となった。

以上の結果より、我々の提案したμBOSAチップを使用することによりFTTH用ONUのコスト削減の可能性が明確になった。



参考文献

- 1) H. Sasaki *et al.*, : “A Low-Cost Micro-BOSA Using Si Microlens Integrated on Si Optical Bench for PON Application,” in Optical Fiber Communication Conference and Exposition and The National Fiber Optic Engineers Conference on CD-ROM (Optical Society of America, Washington, DC, 2006) , OWL6
- 2) 前野仁典他 : “シリコンマイクロレンズの開発”, 沖テクニカルレビュー197号, Vol.71 No.1, pp.92-95, 2004年
- 3) K. Kotani, *et al.*, : “Ultra compact optical sub assembly using surface mountable silicon microlens”, MOC03 K5, pp.366-369, 2003

筆者紹介

小谷恭子 : Kyoko Kotani. 研究開発本部 ネットワークデバイスラボラトリ

関川亮 : Ryo Sekikawa. 研究開発本部 ネットワークデバイスラボラトリ

志村大輔 : Daisuke Shimura. 研究開発本部 ネットワークデバイスラボラトリ

前野仁典 : Yoshinori Maeno. 研究開発本部 ネットワークデバイスラボラトリ

上川真弘 : Masahiro Uekawa. シリコンマニュファクチャリングカンパニー シリコンレンズプロジェクト

佐々木浩紀 : Hironori Sasaki. シリコンマニュファクチャリングカンパニー シリコンレンズプロジェクト

TIPS

【基本用語解説】

波長分岐フィルタ

ある設定された波長の光信号だけを透過させる機能を持ち、主に一本の光ファイバ中に複数の波長の光信号を伝送させるWDM (wavelength division multiplexing) 伝送などにおける、光信号の合波や分波に用いられる。

シリコンオプティカルベンチ

シリコン微細加工技術を用いたV字型精密加工溝を持ち、LDチップやSiレンズ等の部品をパッシブ実装で配置することができるプラットフォーム基板。

FTTH (Fiber To The Home)

加入者宅まで接続された光ブロードバンド網。

モンテカルロシミュレーション

一般的には、乱数を用いる数値シミュレーションの総称。ここでは、各部品の実装上の誤差がμBOSAチップの光学特性にどう影響するかを見る目的で、誤差範囲内で乱数を発生し、その組み合わせでμBOSAチップの歩留まりを推測している。