
高NAマイクロレンズの高精度実装技術

The Precise Assemble Technique for the high NA Microlens

三船 博庸* 佐藤 康弘* 清澤 良行*
Hironobu MIFUNE Yasuhiro SATOH Yoshiyuki KIYOSAWA

要 旨

半導体デバイス作成方法を利用してマイクロレンズを形成する技術をもとに、基板を2枚使用する高NAマイクロレンズの実装技術を開発した。高NAマイクロレンズは、一方の基板に1つの凸レンズを、もう一方の基板に1つの凸レンズと凸レンズの反対の面に凹形状を高屈折率樹脂で埋めた構造からなる。高NAマイクロレンズの公差を計算で求め、公差を達成する2枚の基板実装方法を設定した。2枚の基板の貼り合わせプロセスでは、紫外線硬化樹脂が基板全体に行き渡る構造を作成する。また、レンズ高さなどの研磨プロセスでは、正確な高さを出すための測定基準位置をプロセスの影響を受けない位置に設定する。この結果、カバー厚と各レンズ同士の光軸ずれが公差を超えることがわかった。誤差が発生する要因を考察し、解決方法を示す。

ABSTRACT

A high NA microlens fabrication method is developed based on the semiconductor fabrication technique. The high NA microlens consists of two substrates, one of which has convex lens, the other has convex lens and concave filled with high refractive resin. Tolerances are calculated by using optical design software to indicate the required accuracy for fabrication. The spacer structures are fabricated to penetrate the adhesive over the substrate for bonding of two substrates. The positions on measuring polishing thickness are set at the positions that are no damage in fabrication process. The high NA microlens are fabricated and the errors are measured. All errors are under tolerances except the cover thickness and displacement of the optical axis between the lenses. The improvement methods are discussed to satisfy tolerances.

* 研究開発本部 中央研究所
Research and Development Center,
Research and Development Group

1. 背景と目的

マイクロレンズは、おもにレンズの直径が数mm以下のレンズを呼ぶことが多く、光書き込みや読み取りの結像素子アレイとして使われたり、CCDカメラや液晶プロジェクターの光利用効率を上げるために使われたり、また対象物を均一に照射するために用いられている。さらに、光通信システムを構成する重要な素子として使われたり¹⁾、最近では光記録の分野でも使われる²⁾など幅広い分野で用いられている。

マイクロレンズの作成方法は通常のレンズ作成方法が研削や研磨などの機械加工を利用しているのに対して、ガラス基板にイオン交換で屈折率分布を与えて作成したもの³⁾、円筒状のフォトリソパターンに熱を加えリフロー(溶融)させることにより作成したもの^{4) 5)}、インクジェットプリンターで使われるノズルから樹脂材料を基板に滴下して作成したもの⁶⁾など従来のレンズ加工法とは異なるさまざまな作成方法が報告されている。

NA(Numerical Aperture : 開口数)の大きなマイクロレンズは、半導体レーザーから大きな発散角で広がる出射光を受けたり、また光ファイバー同士の結合や合波や分波を行なうため光ファイバーからの出射光をコリメートしたりするのに有効である。さらに、明るいレンズであるため、光学素子間の結合ロス小さくするのに有効なレンズである。

これまでのマイクロレンズは通常レンズ面が2面であり、NAが0.7を超えるようなマイクロレンズを作成するのは困難であった。

そこで我々は高NAを得るためにレンズの面数を3面とした2枚構成高NAマイクロレンズを提案した⁷⁾。2枚構成高NAマイクロレンズは、ウエハ基板上に半導体デバイス作成プロセスを応用した作成方法によりレンズなどの構造を形成後、ウエハの状態のまま実装するため、高い生産性が期待できる。また、半導体デバイス作成プロセスは、一度に大量のデバイスを作成することに優れており、デバイスの低コスト化が期待できる。

我々は2枚構成高NAマイクロレンズを実現するために高精度な実装方法について検討してきた^{7) 8)}。

本稿では、NA0.85を目指して、実装上の課題を把握し、高NAマイクロレンズにおける技術課題を設定することを目的としている。

2. 技術

2-1 2枚構成マイクロレンズ

2-1-1 構成

今回設計した高NAマイクロレンズのNAは0.85である。また、設計波長は650nmとした。

Fig.1に2枚構成高NAマイクロレンズの構成を示した。

2枚構成高NAマイクロレンズは2つの基板から構成され、図の下の基板S1にはレンズL1、上の基板S2にはレンズL2とレンズL3の計3面構成されている。向かい合うレンズ面の間は空気層となっている。レンズL1とレンズL2の間隔が正確に得られるような構造(スペーサー)をレンズL1とレンズL2の周囲に作成する。2つの基板はこのスペーサーの面で接している。また、レンズL3は高屈折率樹脂で埋め込まれ、その上にカバー層が設けられている。さらに、基板S1のレンズL1とは反対の面にアパーチャーを設けている。

この2枚構成高NAマイクロレンズの特徴は、素子の両面が平板であり、他の光学素子などとの整合が容易な構成であることがあげられる。

2枚構成高NAマイクロレンズのレンズ開口径は $200\mu\text{m}$ 、レンズ高さはそれぞれ約 $33\mu\text{m}$ 、レンズの全長は $640\mu\text{m}$ 、大きさは4mm角である。

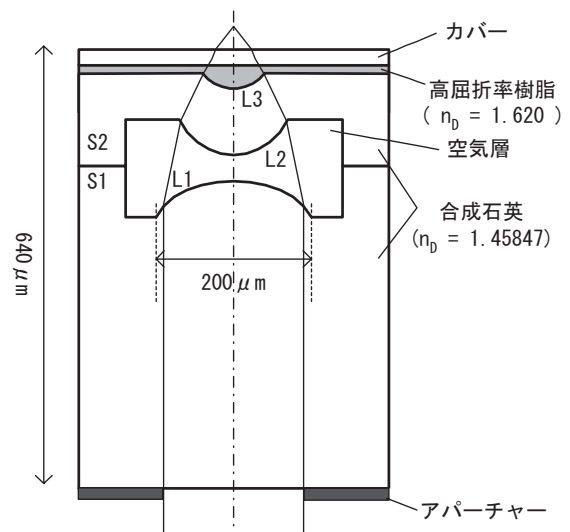


Fig.1 Design of the high NA microlens.

2-1-2 作成方法

2枚構成高NAマイクロレンズは、フォトリソグラフィとドライエッチングによりマイクロレンズ形状をウエハ基板上に形成後、マイクロレンズ付きウエハ基板同士の貼り合わせとウエハ基板の研磨、さらにカバーの貼り合わせ(レンズL3埋め込み)とカバーの研磨の実装プロセスを経て作成される。

アパーチャーはフォトリソグラフィを行なう前に基板S1上にCr膜をスパッタして作成される。

2枚構成高NAマイクロレンズは2つの基板を貼り合わせて実装する必要がある。したがって、1つ1つ小さなデバイスの位置を正確に合わせて作成するよりも、多数の高NAマイクロレンズが形成されたウエハ同士を正確に実装した後で1つ1つ切り出すほうが1度のアライメントで多数の高NAマイクロレンズを一括してアライメントすることができる。

高NAマイクロレンズを形成するウエハ基板とカバーには合成石英($n_p=1.45847$)を用い、レンズL3を埋めこむ高屈折率樹脂には紫外線硬化型エポキシ樹脂($n_p=1.620$)を用いる。また、この樹脂はウエハ基板同士を貼り合わせる際の接着剤としても使用する。

なお、使用したウエハ基板の直径は4inchである。

2-1-3 実装の公差

2枚構成高NAマイクロレンズは高いNAであることに加え、レンズ面が3面あるため、レンズ同士のアライメントは高い精度が要求される。この精度はレンズの設計時に計算される許容値のことで、公差と呼ばれる値である。

レンズ公差は、2枚構成高NAマイクロレンズの作成時の許容誤差を示すもので、波面収差の変化量として表される。公差は、たとえば長さの公差やレンズ面の形状ずれの公差など非常に多岐にわたる。各公差は公差を配分した上で決定されるが、我々はレンズ作成時の製造誤差の実力をあらかじめ測定あるいは予測して公差を配分している。

計算された公差は、作成方法で説明した各プロセスでの製造上の目標値を与えることになる。たとえば、レンズ高さはフォトリソグラフィ時のフォトレジスト厚およびドライエッチング時のエッチング量の目標値となる。

我々は、後で述べる貼り合わせと研磨の各実装プロセスで問題となる公差に注目した。

先に述べたように高NAマイクロレンズは2つのウエハ基板をアライメントして貼り合わせる必要がある。誤差が発生する要因には、2枚のウエハの面内ずれや2枚のウエハの間隔ずれがある。すなわち、実装公差としては光軸方向の公差と光軸に垂直な方向の公差がある。

それぞれの方向に対する具体的な項目として、光軸方向にはレンズ面間隔とレンズ高さ、光軸に垂直な方向には光軸ずれがある。Fig.2とFig.3にそれぞれを図示した。ここで、光軸方向をZ軸、光軸に垂直な方向で紙面に対して水平な方向をX軸、紙面に対して垂直な方向をY軸とする。

Fig.2に光軸方向の公差を示した。レンズ面間隔は各レンズの面同士の間隔であり、レンズL1とレンズL2の向かい合う先端の間隔である。また、レンズ高さは基板上からレンズ頂点までの高さ(深さ)とカバーの厚さである。またFig.3に示した光軸ずれは各レンズの光軸同士のずれを表している。

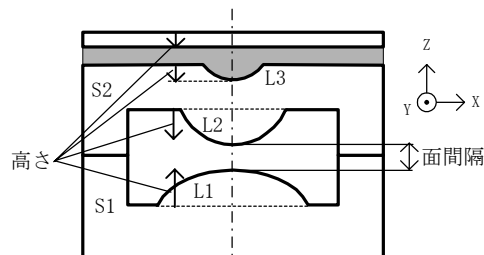


Fig.2 Displacements on the optical axis direction.

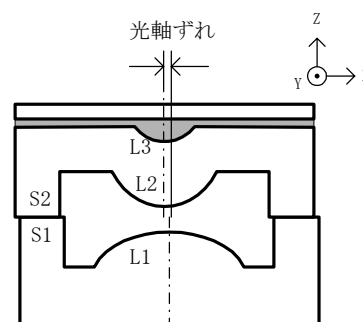


Fig.3 Displacements on the direction normal to the optical axis.

Table 1は光軸方向(レンズ面間隔、レンズ高さ; Z軸)の公差と光軸に垂直な方向(光軸ずれ; X軸, Y軸)の公差を光学設計ツールで計算した値である。

Table 1 Tolerances for the assembled high NA microlens.

項目	公差 (μm)
レンズ面間隔	±3.0
レンズ高さ	±3.0
光軸ずれ	±1.0

Table 1から、光軸方向にはレンズ面間隔とレンズ高さともに3μm、光軸に垂直な方向には1μmの実装精度が要求されることがわかる。

2-1-4 高NAマイクロレンズ実装技術

実際に高NAマイクロレンズを作成・実装する前に、各公差の発生する原因を予測し、実装上の課題を検討した。

Fig.4は貼り合わせ時に生じるであろうずれの例を示したものである。基板S1と基板S2の接合間に紫外線硬化樹脂が入るために、突き合わせ時の紫外線硬化樹脂の流動性によりウエハ基板が水平方向に微動すること、硬化時に紫外線硬化樹脂の収縮と紫外線硬化樹脂の塗布量差により図の左右のスペーサーの収縮量が異なりウエハ基板が光軸に対して傾いて垂直方向に微動すること、が考えられる。さらに、ずれの生じる原因とはならないが、紫外線硬化樹脂がウエハ全体に均一に広がらないことにより接着力が不均一となり、ダイシング時にウエハ基板同士が剥がれるという問題も考えられる。

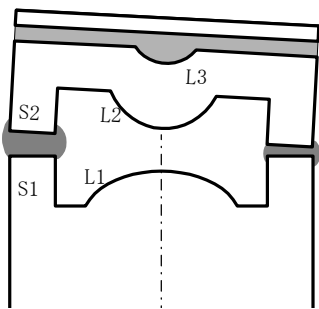


Fig.4 Examples of displacements occurred by bonding.

また、Fig.5は研磨時に生じるであろうずれの例を示したものである。研磨は所望の高さを得るために行なうプロセスで、研磨する量が問題となる。研磨する量は、実際のサンプルを計測しながら行なうため、どこを測定基準位置にして研磨するかで仕上りの研磨量が異なってくる。特に、今回使用しているウエハ基板厚には面内分布があるため、基板S1のウ

エハ基板厚を含めるようにウエハ基板S1の下の面に測定基準位置を設定した場合、研磨量がウエハ基板内で異なる可能性があると考えられる。

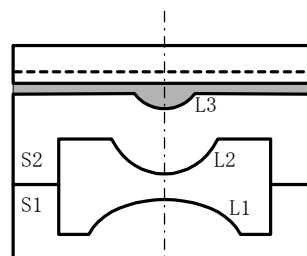


Fig.5 Examples of displacements occurred by polishing.

上記の実装上の課題を解決するために、貼り合わせと研磨の各プロセスにおいて以下のような解決項目を設定した。

まず、貼り合わせプロセスで問題となる項目では、スペーサー形状と紫外線硬化樹脂塗布方法をそれぞれ設定して解決することとした。

また、研磨プロセスで問題となる項目では、研磨測定時の基準面を基板S1のウエハ基板厚の面内分布の影響を受けない位置に設定することによって解決することとした。

これら解決方法を含めた2枚構成高NAマイクロレンズの全体の実装フローについてFig.6に基づいて説明する。

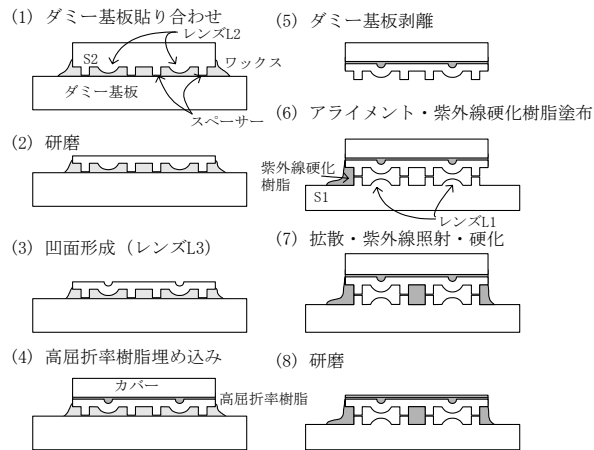


Fig.6 Assemble process flow of the high NA microlens.

まずあらかじめレンズL2を形成した基板S2とワックスを塗布したダミー基板を貼り合わせる。このときは、基板S2とダミー基板が水平を保ち接着されるように突き合わせて貼り合わせる。続いて、ダミー基板上のレンズL2を形成した基板S2を所望の高さが得られるように研磨する。研磨したレンズL2の基板S2にフォトリソグラフィとドライエッチング

によりレンズL3用の凹形状を形成する。できた凹形状に高屈折率樹脂を塗布し、その上にカバーを重ねて高屈折率樹脂を硬化させて接着させる。硬化処理をしたあと、ワックスを溶かしてダミー基板を基板S2から剥離する。続いて基板S2上のカバーを研磨して所望の厚さにするためにすでにレンズL1を形成してある基板S1に紫外線硬化樹脂で貼り合わせる。このとき基板S1と基板S2は正確なアライメントが必要なので、基板S1と基板S2にあらかじめ形成してあるアライメントマークを使い位置を合わせる。その後紫外線硬化樹脂を塗布する。塗布した紫外線硬化樹脂がウエハ基板全体に拡散した後で紫外線照射して硬化処理を行なう。その後、基板S2のカバーを研磨して所望の厚さを得る。

以前は、ダミー基板を使用せずレンズL1が形成された基板S1とレンズL2が形成された基板S2を貼り合わせてからレンズL3の形状形成をしていた。しかしながら、紫外線硬化樹脂がレンズL3形成時に劣化してしまい、基板S1と基板S2が剥がれるという現象が生じたため、ダミー基板を採用した。上記のフローを採用することにより、紫外線硬化樹脂はレンズL3形成後に使用するので基板S1と基板S2が剥がれることを抑えることが期待できる。

なお、貼り合わせプロセスはレンズL1とレンズL2、レンズL3の埋め込み時の2回行っている。また、研磨プロセスはレンズL3形成時に2回行っている。

2-1-5 貼り合わせ実装技術

先に説明した実装フローにおける貼り合せプロセスについてさらに詳細に説明する。

レンズL1とレンズL2の貼り合わせプロセスは、基板S1と基板S2のアライメント、紫外線硬化樹脂塗布、拡散、紫外線照射・硬化からなっている。ここでは2枚のマイクロレンズ付き基板S1と基板S2を、光軸ずれとレンズ間隔ずれが発生しないように貼り合わせる必要がある。そのため、i)貼り合わせに用いる紫外線硬化接着材が光軸合わせの妨げにならないようにすること、ii)レンズ間隔がずれないこと、iii)切り出し(ダイシング)時に剥がれないよう基板全体にわたって均一に貼り合わせることを、を考慮する。これらを解決するため、基板S1と基板S2のアライメント後、毛細管現象を利用して紫外線硬化樹脂を基板S1と基板S2間に拡散させる方法を用いる。

レンズL1とレンズL2の貼り合わせプロセスは、Fig.6の(6)

～(7)に該当する。重ね合わせてアライメントした2枚の基板S1と基板S2の周辺部に接着材を塗布し(6)、毛細管現象により、接合部全体に紫外線硬化樹脂を広げる(7)。この時レンズ部分に流れ込まないように、レンズのない部分にのみ紫外線硬化樹脂が流れ込まなくてはならない。そこで、レンズ周辺は空間を確保できるスペーサーを設計し、マイクロレンズと同時に作成することにする。マイクロレンズとスペーサーの配置をFig.7に示す。スペーサーは基板S1と基板S2を突き合わせるマイクロレンズよりも高い部分、マイクロレンズとスペーサーにはさまれた部分は紫外線硬化樹脂が入りこまないレンズよりも低い平面部である。紫外線硬化樹脂が基板に十分行き渡った後、紫外線照射を行い紫外線硬化樹脂を硬化させる。このスペーサーは、紫外線硬化樹脂がレンズに付着するのを防ぐだけでなく、レンズL1とレンズL2の間隔を決める役割も兼ねている。さらに、紫外線硬化樹脂を広い範囲に拡散させ接着後の強度を確保するため、基板全体にわたりスペーサーを設置している。

レンズL3の埋め込みは凹形状に高屈折率樹脂を埋め込むだけなので、特にアライメントの必要はない。レンズL3側に高屈折率樹脂を塗布した後、気泡が入らないようにカバーを貼り付けている。

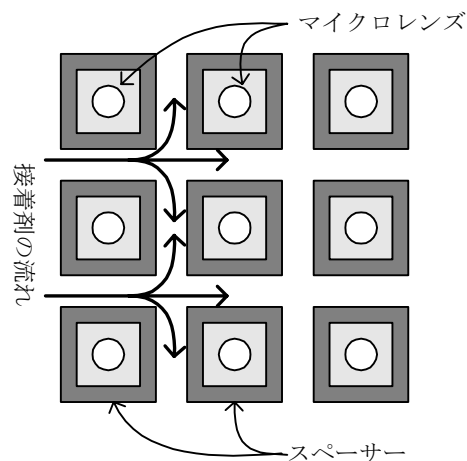


Fig.7 Resin penetration by capillary phenomenon.

2-1-6 研磨実装技術

次に研磨プロセスについて詳細に説明する。

研磨は、レンズL3形成時にレンズL2とレンズL3の間隔を所定の間隔にするための基板S2の研磨とレンズL3のカバー

を所定の厚さにするための研磨の計2回行っている。

使用する基板S2がはじめから必要な厚さであれば研磨は不要になるが、基板S2の厚みが $100\mu\text{m}$ 程度と非常に薄くハンドリングが困難になる。そのため、ハンドリングしやすい厚さでレンズL2を形成し、ダミー基板を貼り合わせた後で研磨することにより所定の厚さを得るようにする。

レンズ面間隔公差とレンズ高さ公差を達成するため、基板S2やカバーの研磨は $\pm 3\mu\text{m}$ 以下の精度で行なう必要がある。研磨を行う際に基準とする面はFig.8のように基板S1あるいはダミー基板の上面に4点設定し研磨を行なうことにする。このように基板S1あるいはダミー基板の貼り合わせ面に基準位置を設定することで、基板厚の面内分布の影響を受けずに測定することが可能となる。なお、Fig.8ではダミー基板上に貼り合わせる基板S2は四角形となっている。

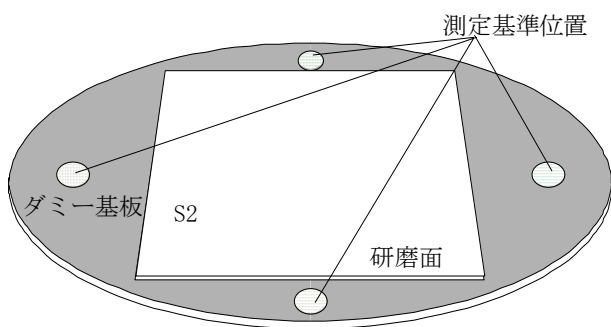


Fig.8 Positions on measuring polishing thickness of S2.

2-2 作成結果

Fig.9に作成した高NAマイクロレンズの断面写真を示す。これは、レンズの中心を通るように断面を切断したもので、切断した際にカバーの部分が剥がれ落ちている。

下からレンズL1、レンズL2、レンズL3である。レンズL3の白い部分は高屈折率樹脂である。なお、このサンプルは断面観察用のサンプルでNA0.85のサンプルではなく、レンズL1とレンズL2の間隔はNA0.85のサンプルよりも大きい。

以下作成した高NAマイクロレンズの製造誤差について結果を記述する。

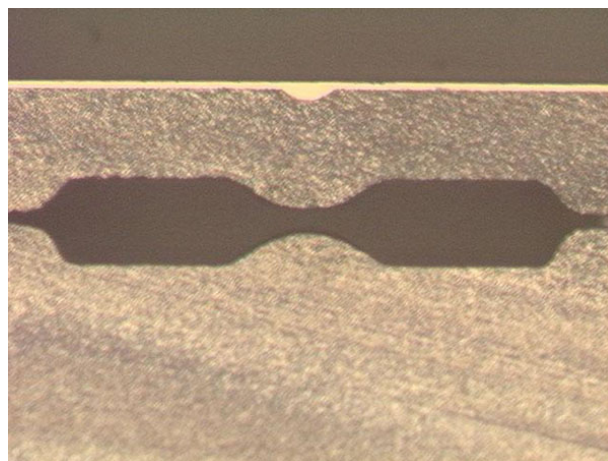


Fig.9 Photograph of cross section view of the high NA microlens without cover.

2-2-1 レンズ面間隔とレンズ高さ

Table 2にレンズ面間隔とレンズ高さに関する設計値からのずれ(製造誤差)の測定結果を示した。これらは、触針式の膜厚計、あるいは断面写真の画像解析から求めた値である。

カバー厚では $+7.0\mu\text{m}$ の誤差が発生していた。その他の項目の誤差については今回のサンプルで公差 $\pm 3\mu\text{m}$ を超えたものはなかった。

Table 2 Errors on the optical axis.

項目	誤差(μm)
レンズL1高	-2.5
レンズL2高	+2.5
レンズL1-レンズL2	+2.6
レンズL2基板厚	-1.8
レンズL3高	+0.6
カバー厚	+7.0

2-2-2 光軸ずれ

Table 3にはレンズL1に対するアパーチャー、レンズL2、レンズL3の光軸ずれの測定値を示した。これらの誤差は光学顕微鏡画像の画像解析から求めた値である。

どの測定値もX方向のずれ量が0となっている。これは、測定装置の測定限界以下で測定できず0となっていたため、 $1\mu\text{m}$ 以下の誤差と考えられる。

photoresist, J. Meas. Sci. Technol., 1, (1990), p.759.

- 6) Y. Ishii, et al.: MOC'99 Technical Digest, (1999), p.98.
- 7) 三船 他,: 応用物理学会(日本光学会)微小光学研究グループ
MICROOPTICS NEWS, 19, 1 (2001), pp.49-54.
- 8) Y.Satoh et al.: MOC'01 Technical Digest, (2001), p.162.