

転写成形によるポリイミドの微細加工

三井化学株式会社 飯田 健二 塩田 剛史
Mitsui Chemicals, Inc. Kenji Iida Tsuyoshi Shioda

要旨

近年、光通信部品開発において、微細加工されたポリイミド部品が適用され始めている。本研究では、転写成形によりポリイミドを微細加工する新規成形方法を開発した。本手法により、フォトリソグラフィやドライエッチングなどの微細加工プロセス省略によるポリイミド部品の量産化・低コスト化を実現した。また、光導波路フィルムの作製や、サブミクロンオーダーの微細構造の成形が可能であることを確認した。

1. 緒言

光通信技術の発展に伴うインターネットの普及により、長距離通信などの幹線系のみならず、FTTH (Fiber to the Home) を代表としたアクセス系にも光通信網は広がり始めている。近い将来には情報家電が普及することにより、ホームネットワーク時代が到来すると言われている。ホームネットワーク化を実現するために光通信部品として必要とされるのは、「大容量伝送」「省スペース (小型化)」「リーズナブルな価格」である。特に光通信網を汎用化するためにはデバイスコストの削減が絶対条件であり、光通信部品の低コスト化はホームネットワーク時代への近道でもある。

そのような背景を反映して、光通信部品開発において、シリコンや石英などよりも柔軟性やコストの面で有利であるといった点から、ポリマー材料が適用され始めている。特にポリイミド材料は、耐熱性が高くハンダ加工に対して十分な耐性を有することから期待されている。光通信部品などの高機能な部品を開発するには、ミクロンオーダー以下の微細加工技術が必要となる。このような微細加工には一般的に、従来の半導体加工技術であるフォトリソグラフィとドライエッチングが適用されている。しかしこれらの手法では大型装置が必要であり且つ加工するのに時間を要するため、量産化や低コスト化が困難であり、ポリマー材料適用によるコスト削減の効果も十分に発揮できない。

本研究では、転写成形によりポリイミドを微細加工する新規方法を開発することで、高機能光通信部品の量産化・低コスト化を可能とした。その成形方法と、本手法の適用例について報告する。

2. 新規成形方法 (剥離層法)⁽¹⁾

図1に開発した新規成形方法 (剥離層法) の工程を示す。はじめにフォトリソグラフィとドライエッチングによりポリイミド製の転写型を作製する。この転写型上に剥離層として酸化シリコン膜を約10nm厚蒸着する(a)。さらにその上から、成形材料であるポリアミド酸溶液をスピンコートし、加熱イミド化する(b)。その後、転写型ごと約5wt%

のフッ酸水溶液に浸漬することで酸化シリコン膜がウェットエッチングされ、端の方から転写型と成形ポリイミドとの間での剥がれが生じ、約 10 分ほどで転写型からポリイミドフィルムが完全に剥離する(c)。このようにして、転写成形によるポリイミドの微細加工が可能となる。

ポリイミド転写型と、それによって成形されたポリイミドフィルムのSEM像を図2に示す。成形するポリイミド材料には、2,2'-ビス(3,4-ジカルボキシフェニル)ヘキサフルオロプロパン酸二無水物(6FDA)と2,2'-ビス(トリフルオロメチル)-4,4'-ジアミノビフェニル(TFDB)からなるフッ素化ポリイミドを用いた。図2より、転写

型に形成された幅 40 μ m、高さ 35 μ m の凸構造が、凹構造となってフッ素化ポリイミドフィルムに成形されていることが分かる。熱処理によるポリイミドの収縮が3%程度あること

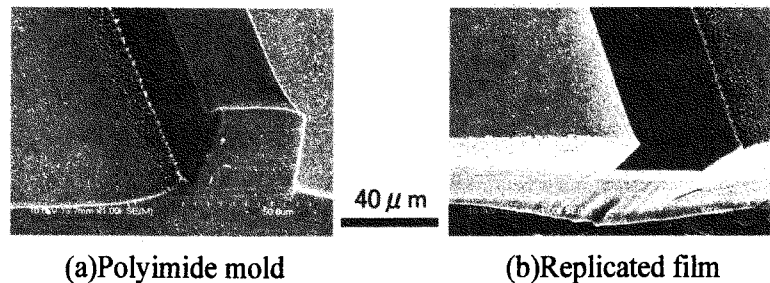


Fig.2 SEM images of the mold (a) and replicated film (b).

を考慮すれば、転写寸法精度は 1 μ m 以下であることが分かった。本新規成形方法(剥離層法)を用いれば、ミクロンオーダーの微細構造を精度良く転写することができるため、フォトリソグラフィとドライエッチングプロセス省略による量産化・低コスト化が可能となる。

剥離する様子は次の通りである。転写型ごと約 5wt%のフッ酸水溶液中に浸漬すると、転写型からフッ素化ポリイミドの端部が剥がれ始める。約 10 分後、全体の 5%程度剥がれた後、一瞬且つ完全にフッ素化ポリイミドフィルムが剥がれる。このような剥離現象の観察結果およびフィルムには熱膨張係数の差から引っ張り応力がかかっていることから、フッ酸水溶液による酸化シリコン膜のエッチングは単なる起因であり、剥離の主な原因は残留引っ張り応力の解放であると考えられる。そこで剥離現象解析のため、フッ素化ポリイミドフィ

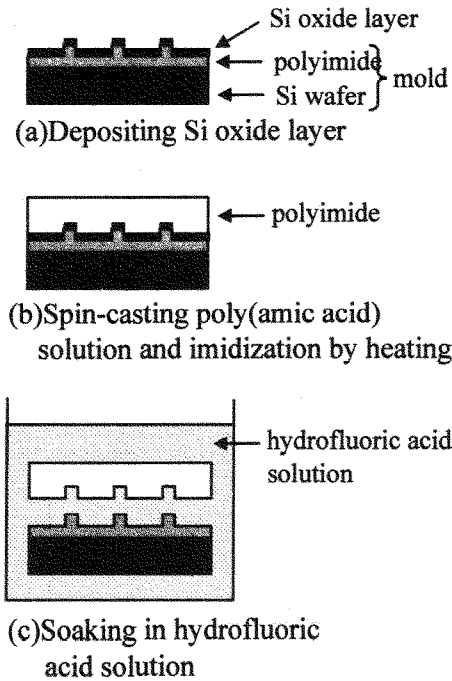


Fig.1 Replication process of polyimide film

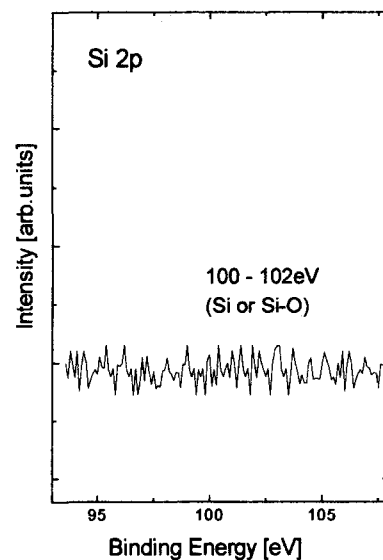


Fig.3 Si2p peak of the film interface

ルムの剥離界面のXPS測定を行なった。図3には剥離界面でのSi2p測定結果を、図4には通常のフッ素化ポリイミド(リファレンス)とフッ素化ポリイミドの剥離界面でのN1s測定結果を示す。図3に示すように、Siに関するピークは観測されなかった。つまり剥離界面にはSiO_xの残留が無いことが分かった。また図4に示すように、N1sピークにはリファレンスとの若干の違いがあることが分かった。このことはイミド基以外の構造を持った層が界面に存在することを示している。

以上のことから剥離現象は次のように解釈できる。酸化シリコン膜に隣接するフッ素化ポリイミド層には、イミド基以外の構造を持った接着強度の弱い層が形成される。そこにフッ酸水溶液による酸化シリコン膜のエッチングが

起因となって、残留引張り応力の解放が発生する。すると接着強度の弱い層で剥離が起きるため、フッ素化ポリイミドフィルムにSiO_xが付着しないと考えられる。

以上のような剥離過程で転写成形できるので、本新規成形方法ではSiO_x付着などによる特性劣化の無いポリイミドフィルムが成形可能と言える。

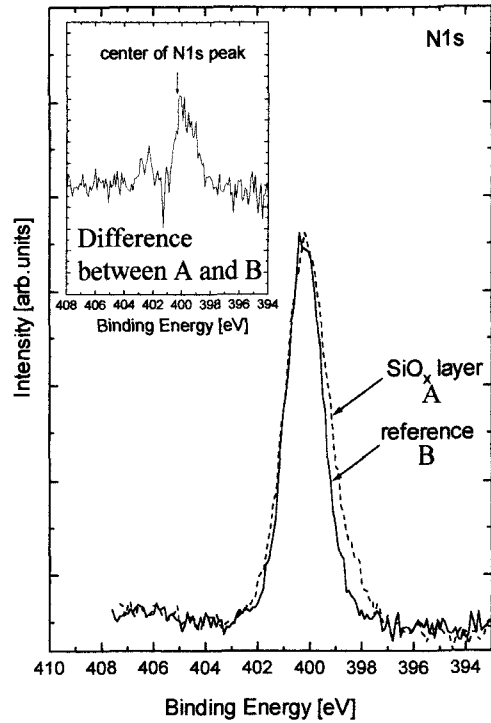


Fig.4 N1s peak of the film interface

3. 石英転写法の提案⁽²⁾

一方で我々は、転写型として石英ガラス板を用い、水によって剥離できることも見出した。図5に示すように、その工程は転写型へのスピコート及び加熱イミド化(a)と水への浸漬のみである(b)。剥離は、剥離層法と同様に、端から徐々に剥がれ始め、全体の約10%程度剥がれた後に一気にすばやく剥がれた。また、水温を上げるにつれて剥離時間は短くなり、75°Cで剥離時間10分と剥離層法とほぼ同時間で剥離可能であることが分かった。本新規成形

方法(石英転写法)では、酸化シリコン膜(剥離層)形成の工程が不要であり、さらなる低コスト化・量産化が可能となる。

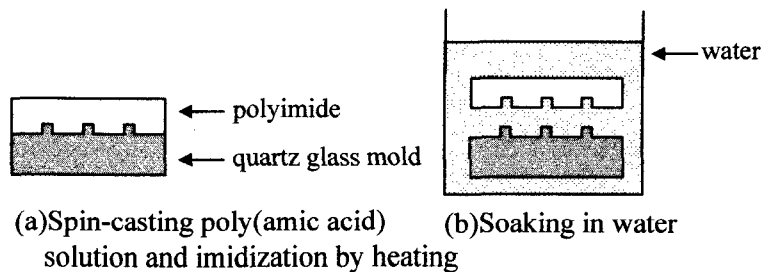


Fig.5 Replication process using quartz glass mold

4. 適用例

剥離層法の適用例として、光導波路フィルムを作製した例を述べる。剥離層法により溝成形された6FDA/TFDBポリイミドフィルムを下部クラッドフィルムとして用い

る。下部クラッドフィルム上にコアとなるフッ素化ポリイミドをスピコートおよび熱処理することで、溝に埋め込む。さらにその上から上部クラッドとなるフッ素化ポリイミドをスピコートおよび熱処理することで光導波路フィルムが作製できる。作製した光導波路フィルムの断面観察結果を図6に示す。溝部以外に

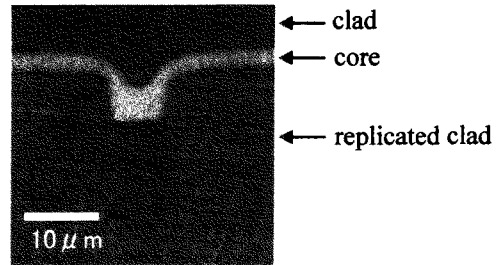


Fig.6 Cross section of Waveguide Film

コア部がはみ出していることがわかる。しかしながらこのような構造であっても、はみ出しコア厚を制御することにより光は溝形成しているコア部に閉じ込めることができる。光損失を測定した結果、1310nmの波長で0.3dB/cmを得た。この値は、完全にコア部がクラッド部に囲まれている光導波路と比較しても、何ら遜色が無い値である⁽³⁾。

さらに我々は、2光束干渉法を用いて0.5μm周期の回折格子形状の転写型を作製し、剥離層法によって転写成形した(図7)。転写型と成形フィルムの周期誤差は±10nm以下であり、サブミクロンオーダーの転写も可能であることが分かった。

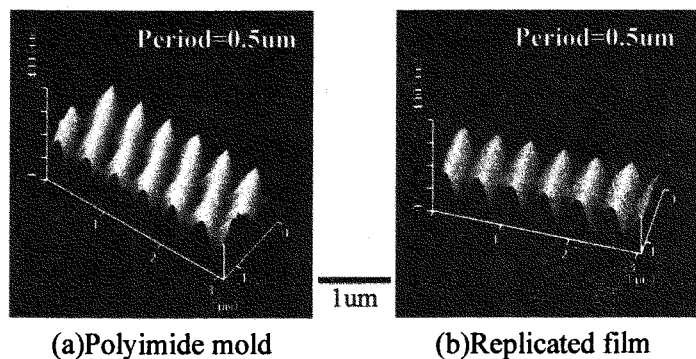


Fig.7 AFM images of the mold (a) and replicated film (b).

5. まとめ

高機能光通信部品を安価に提供するため、ポリイミドを簡便に微細加工できる新規成形技術(剥離層法と石英転写法)を開発した。本手法によって、微細加工プロセス省略による量産性向上と低コスト化を実現した。また転写寸法精度<1μmであり、且つ転写による特性劣化の無いポリイミドフィルムが成形可能であることを示した。本手法を用いることで、光伝搬損失の少ない光導波路フィルムを成形することや、サブミクロンオーダーの転写成形も可能であることが分かった。本新規成形技術により、微細加工が必要な様々な高機能光通信部品の量産性向上と低コスト化が期待できる。

6. 参考文献

- (1) T.Shioda : Japanese Journal of Applied Physics, Vol.41 (2002) 1379
- (2) T.Shioda : Japanese Journal of Applied Physics, Vol.41 (2002) L1126
- (3) J.Kobayashi, T.Matsuura, Y.Hida, S.Sasaki and T.Maruno : J.Light-wave Technol.16 (1998) 1024