

高分子光回路コンポーネント成形加工技術

杉原興浩

Fabrication Technique of Polymer Optical Waveguide Components

Okihiko SUGIHARA

Simple fabrication technique of waveguide components in polymer films by simultaneous process of embossing and photobleaching was proposed. A combined mask/master consisting of a photomask part and a grating die part was fabricated. Then the mask/master was set on the polymer film and both embossing and photobleaching were performed.

Key words: polymer, optical waveguide components, mask/master, hot embossing and photobleaching

マルチメディア、ITアプリケーションの増大に伴い、情報処理能力のアップが急速に求められている。特に光インターコネクション技術の開発が急速に進んでおり、ボード間のみならずチップ間・チップ内など微小領域における技術開発が必要になってくる。これらの隣接場においては、従来の無機材料からなる光ファイバー・導波路の使用が制限され、よりフレキシブルな材料・デバイスの出現が望まれている。高分子材料は多くの利点を持ち、簡便・安価に光回路を作製できることから、特に宅内系や車載系での光通信・光情報処理分野で用いられる光集積回路や光配線板などの光部品への展開が期待されている¹⁾。

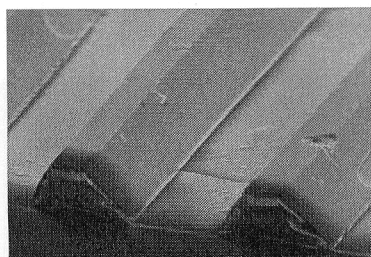
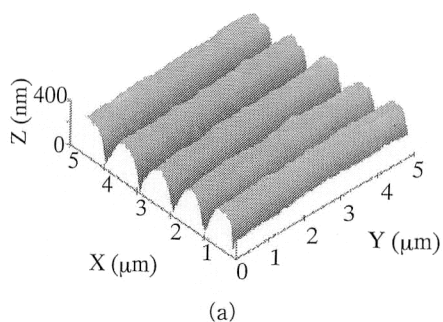
高分子光回路では、特にチャンネル型光導波路、回折格子、面外分岐ミラーなどの光回路コンポーネントを簡便に作製する必要がある。チャンネル導波路の製造法は、これまで主にフォトリソグラフィ・反応性イオンエッチング (RIE) 法が²⁾、一方面外分岐ミラー形成については、ダイシングソー切削で簡便に作製する方法³⁾が開発されている。しかしながら、従来の高分子光回路加工法は、チャンネル導波路と各コンポーネントとを別工程で作製するため、工程時間が多くなるうえに導波路とコンポーネント間の精密な位置合わせが必要となり、時間・コスト面で問題となっている。

本研究では、ホットエンボス法⁴⁾をベースとして、光回路コンポーネントを一括成形加工する方法を提案、検証する。ホットエンボス法は、(1) 大型装置が不要で高スルー

プットが期待できる、(2) 超微細かつ複雑なパターン之作製が可能、などの特長をもつ。本研究では、より簡便な高分子光回路作製を目的として、ホットエンボス法とフォトリソ法⁵⁾を組み合わせた複合マスク/マスターを用いて、各コンポーネントの位置合わせ不要な光回路形成の基礎実験を行った。

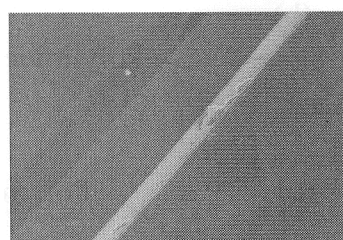
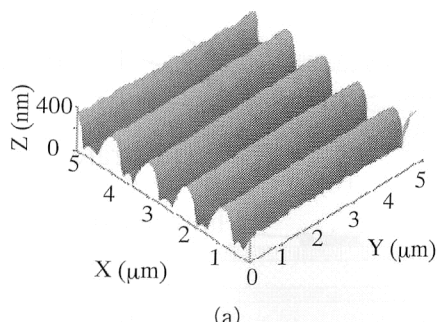
1. ホットエンボス法

図1に、ホットエンボスに用いるための(a)回折格子(周期 $1.0\ \mu\text{m}$ 、深さ $350\ \text{nm}$)、(b)ファイバーガイド(幅 $140\ \mu\text{m}$ 、深さ $70\ \mu\text{m}$)マスターの顕微鏡画像・写真を示す。使用したマスターはガラス基板上に耐熱・耐圧高分子(フッ素化ポリイミド樹脂あるいはUV硬化エポキシ樹脂)を加工・接着したものである。回折格子はUVパルスレーザーを用いた二光束干渉によるレーザーアブレーション⁶⁾を用いて、ファイバーガイドはSiの微細加工を母型とした転写・硬化法で作製した。ポリメチルメタクリレート(PMMA)薄膜サンプルを T_g 付近まで昇温し、上記マスターを押しつける($\sim 20\ \text{kgf}$)。10分後冷却し、約 60°C でマスターを剥離する。図2に、(a)レプリカ回折格子および(b)ファイバーガイド溝の顕微鏡画像・写真を示す。両レプリカとも数パーセント以内の誤差で転写サイズが一致した。



(b)

図1 (a) マスター回折格子 (周期 $1.0 \mu\text{m}$) および (b) ファイバーガイドマスターの顕微鏡画像および写真。



(b)

図2 (a) PMMA レプリカ回折格子および (b) PMMA ファイバーガイドレプリカの顕微鏡画像および写真。

2. ホットエンボス法とフォトブリーチング法を組み合わせた光回路コンポーネント一括形成

これらの光回路コンポーネントをチャンネル導波路に組み込むためのアライメントは、サブマイクロメートル～マイクロメートルオーダーの精度が要求され、製造方法やコスト面で問題となる。そこで、チャンネル導波路とコンポーネントを特別なアライメントの必要なく作製する方法として、光導波路形成とコンポーネント形成を一括で行うことを試みた。これまで報告されてきた成形加工法は、金型を用いたホットエンボス法により導波路溝などを形成し、次にコア樹脂を溝に充填するという多工程であった⁴⁾。本提案は、光導波路はフォトブリーチング法を用いて直接コア形成し、その他のコンポーネントについては、ホットエンボス法を用いて形成するという複合加工法である。一括形成のために、フォトマスク (フォトブリーチ用) とマスター (エンボス用) を組み合わせた複合構造マスク/マスターを作製し、それぞれのコンポーネントの位置合わせをマスク/マスター上でやっている。本報では、一例としてチャンネル導波路と局所回折格子の一括形成を試みた。図3にその概要図を示す。

3. マスク/マスター作製およびレプリカ作製

図4にマスク/マスターの作製手順を示す。クロム (Cr) を蒸着したガラス基板上にポリイミドを堆積し、さらに上部に金 (Au) を蒸着後フォトレジストを塗布した。マスク露光によりレジストを導波路サイズに加工し、同一基板上に幅 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ の計5本のレジストマスクを形成した。そ

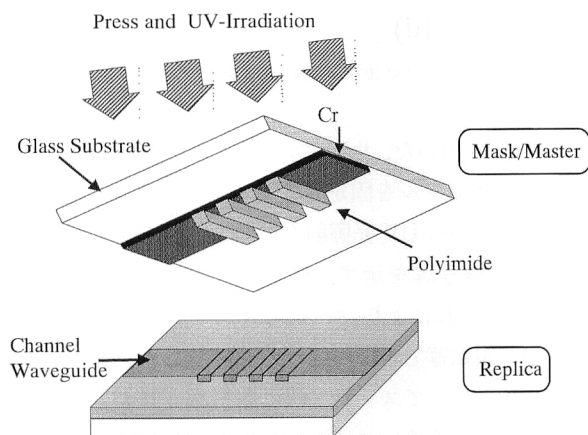


図3 ホットエンボスとフォトブリーチを組み合わせた光回路コンポーネント一括形成の概要図。

の後、レジスト外部の Au 層をエッチング除去し、 O_2 -RIE によりポリイミドのエッチングを行った。残ったポリイミドがマスクの役割を果たし、Crのエッチングによって、導波路幅のマスクが転写される。格子外部のポリイミドをエッチング後、単一パルス Nd:YAG レーザー (355 nm) の干渉露光⁶⁾ によってポリイミドにレリーフ型回折格子を形成した。図5にマスク/マスターの顕微鏡写真を示す。幅 $10 \mu\text{m}$ のリッジ部のみに局所的に周期 $1.0 \mu\text{m}$ の回折格子が形成されていることがわかる。格子部のポリイミド膜厚は $0.5 \sim 2 \mu\text{m}$ 、Cr 膜厚は $\sim 50 \text{ nm}$ 、格子の溝深さは 300 nm である。

作製したマスク/マスターを用いて、レプリカ形成を試みた。レプリカ高分子として色素含有 PMMA (3RDCVXY⁷⁾ :

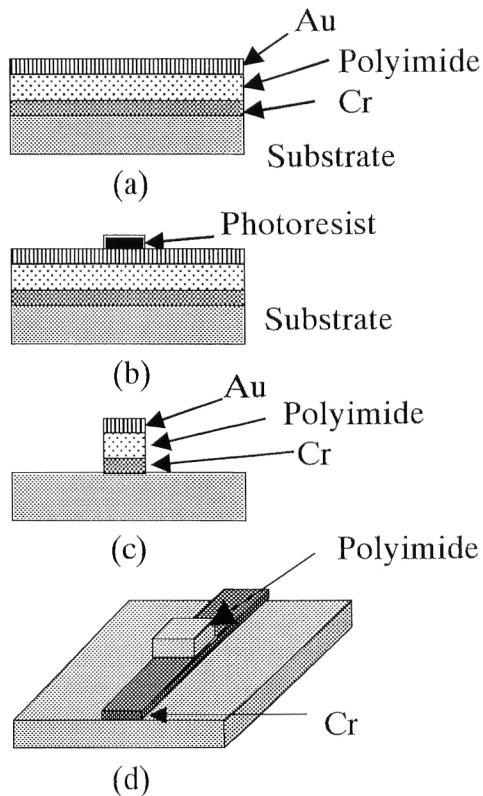


図4 マスク/マスターの作製工程.

$T_g=130^\circ\text{C}$)を用いた. サンプルを T_g まで加熱し, マスク/マスターとサンプルを固定してエンボスを行い, マスク/マスター上部から UV 光照射を行った. 図6 に作製したレプリカ顕微鏡写真を示す. 格子周期は $1.0\ \mu\text{m}$, 幅は $10\ \mu\text{m}$ である. これにより, マスク/マスターと同サイズで局所回折格子が転写できていることを確認した. また, フォトブリーチによってステップ状に屈折率変化が形成されていた結果から, 複合マスク/マスターによる回折格子を有するチャンネル導波路の形成が確認された.

回折格子を有する高分子型光導波路の簡便な作製法について検討した. 回折格子はエンボス法により, 導波路はフォトブリーチ法により作製を試みた. 一括工程にて製作するため, 複合マスク/マスターの作製を行った. マスク/マスターとサンプル薄膜を固定して, ホットエンボスおよび UV フォトブリーチを行った. 結果, マスク幅の回折格子が導波路上に形成できていることを確認した.

この作製法により, チャンネル導波路上に特別なアライメントの必要なく回折格子を作製できることから, 回折格子のほかに, 面外分岐ミラーやファイバーガイド溝などを組み込んだ応用が期待され, 現在研究を行っている. また, 3RDCVXY 高分子は, ポーリング処理により 2 次非線形性

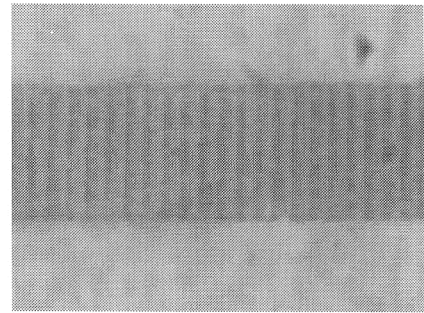


図5 マスク/マスターの顕微鏡写真.

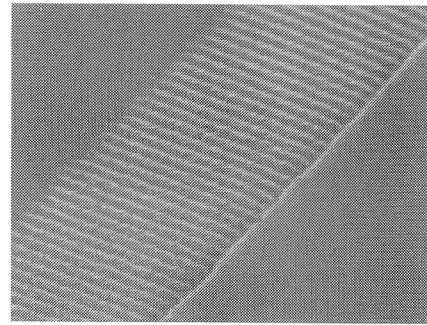


図6 回折格子を有するレプリカチャンネルの顕微鏡写真.

($\chi^{(2)}$) を誘起できるため, マスクを電極とした $\chi^{(2)}$ 誘起も同一工程で実現でき⁸⁾, アクティブ高分子光回路への展開も可能である. 今後は, オーバークラッドなどの解決すべき課題があるが, 高分子光デバイスの実用化に向けてさらなる研究開発が期待される.

本研究を遂行するにあたり, 化学技術戦略推進機構有機モノリシック光回路 WG の戒能俊邦教授, 岡本尚道教授をはじめメンバーの皆様には貴重なご助言を, また本学江上力助教授, 車彦龍博士, 柴田慎弥氏, 磯谷健次氏はじめ研究グループ諸氏には実験での多大なサポートをいただきました. ここに感謝いたします.

文 献

- 1) B. L. Booth: *Polymers for Lightwave and Integrated Optics*, ed. C. P. Wong (Academic Press, New York, 1993).
- 2) M. Kagami *et al.*: *Appl. Opt.*, **34** (1995) 1041-1046.
- 3) R. Yoshimura *et al.*: *Electron. Lett.*, **33** (1997) 1311-1312.
- 4) T. Knoche *et al.*: *Electron. Lett.*, **32** (1996) 1284-1285.
- 5) G. L. J. A. Rikken *et al.*: *Appl. Phys. Lett.*, **58** (1991) 435-437.
- 6) O. Sugihara *et al.*: *Appl. Opt.*, **39** (2000) 5632-5637.
- 7) Y. Shuto *et al.*: *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **3** (1991) 1003-1006.
- 8) O. Sugihara *et al.*: *Opt. Lett.*, **25** (2000) 1028-1030.

(2001年9月25日受理)