

第7章 結 論

本論文は、アゾベンゼン高分子薄膜を用いたデバイス作製法の検討及びデバイス作製とアゾ色素を持ったポリマーへのホログラム記録について述べたものである。

アゾベンゼン高分子薄膜として、分散型の DR1/PMMA、側鎖型の Poly-Orange Tom 及び DR19 を用いた。ポーリングによる非線形性付加後、エリプソメトリー法によって測定された波長 633nm での r 定数は、DR1/PMMA で 8pm/V、Poly-Orange Tom で 26pm/V であった。ただし、DR19 では吸収による効果が大きく 80pm/V に相当する r 定数が測定された。側鎖型ポリマーの r 定数は LN の 1~2 倍程度の値を持ち、かつ 2000 時間以上安定であることを確認した。これにより側鎖型のアゾベンゼン高分子薄膜が EO デバイス材料として有効であることを確認した。

アゾベンゼン高分子薄膜を用いたデバイス作製法の検討として、ブリーチング又は非線形の消去による屈折率変調型 EOG、アブレーション、エッチング又はレーザー表面変調による表面レリーフ型 EOG の作製を行った。レーザー光による屈折率変調型 EO デバイス作製では、 100mW/cm^2 の照射強度により約 10 分で非線形性が消去可能であるとともに、 1W/cm^2 の照射強度で 1 時間(DR1/PMMA)から 2 時間(Poly-Orange Tom)でブリーチングが可能であった。また、どちらの場合でも周期 $100\mu\text{m}$ のマスクを用いて作製した EOG の 1 次回折光を変調することで、EO 効果による変調を確認した。作製時間に注目すると非線形性を消去する方が短時間で EO デバイスの作製が可能であるが、屈折率の制御という点ではフォトブリーチングを用いた方が有効であると考えられる。このレーザー光による屈折率変調構造の作製法は非線形光導波路又は擬位相整合素子の作製に有効である。

レーザー光によるレリーフ型 EO デバイス作製では、アブレーション及びレーザー表面変調法を用いた EO デバイス作製を行った。Nd:YAG レーザー照射により、非線形性の消去及びアブレーションが可能であり、ポーリングにより EO 効果を持つことを確認した。レーザー表面変調法によるレリーフ型 EO デバイス作製のため SRG の基礎特性を測定した結果、作製される SRG は強い偏光依存性、強度依存性を持ち、高強度の円偏光レーザーを用いることで高い回折効率が得られることが分かった。例えば、厚さ約 $1\mu\text{m}$ の Poly-Orange Tom を用いた場合、最大回折効率が得られる時間は 100mW/cm^2 で約 30 分、 1W/cm^2 で約 5 分程度であった。また、ミクロンからサブミクロンオーダーの SRG が作製可能であるとともに、角度及び波長多重記録も可能であることが分かった。また、アシスト光を用いた SRG 記録法により、通常 SRG を作製できない s 偏光干渉縞でも SRG 作製が可能であること及び全可視波長領域のレーザー光で SRG が作製可能であることを確認した。表面レリーフ型 EOG を作製するにあたり、コロナポーリングが SRG に与える影響を調べた所、興味深い結果を確認した。通常 T_g 以上で SRG は消去されるが、コロナ放電を利用し SRG 上にコロナ帯電を行うことで、SRG の 1 次回折効率は数%から約 40%まで増加し、かつレリーフ深さも数十 nm から約 500nm まで増加することを確認した。また、増加した SRG の回折効率は 5000 時間以上安定であった。実験結果からこの増加は T_g 以上で柔らかくなったポリマー上にコロナ帯電することで、山と谷の部分のクーロン力に差が生じ、クーロン力の強い谷の部分のポリマーが移動して生じると考えられるが、詳しい解明には至っておらずさらなる実験及び検討が必要である。この現象は現像過程と見なすことができ、SRG の記録時間短縮、任意の回折効率を持つ SRG の作製又はポーリングマスクによる任意のパターン作製も可能であると考えられる。ポーリングし

た SRG を用いて電極圧着透過型及び AI 蒸着反射型の SREOG の作製を行い、どちらも EO 効果による変調を確認した。このことから、レーザー表面変調法を用いたすべての回折光学素子に EO 効果を持たせることが可能であることが分かった。また、ポーリングにより回折効率(レリーフ深さ)の増加と非線形性の付加が同時に行え、作製工程の短縮が可能であることを確認した。

より実用的な EO デバイスを作製するためには、何らかの形で相互作用長を長くする必要がある。そこで、レーザー表面変調法を用いて導波路構造のグレーティングカップラー変調器、導波モード共振又は表面プラズモン共振を利用した光変調器の作製を行った。それぞれの変調器で EO 効果による変調を確認することができたが、その変調効率はかなり小さかった。これは、膜厚等のデバイス構造の条件からのずれ及び作製法の問題によるものであり、作製法の改良や EO 変調を行う際の電極配置の工夫などが必要であることを確認した。

電子ビームを用いた EO デバイス作製法では、DR1/PMMA を用いた実験によりブリーチングにより屈折率変調型グレーティングが作製可能であることを確認したが、この際レリーフ構造も同時に作製されることが分かった。また、この試料に熱を印加することでレリーフ深さを増加できることが分かった。ただし、ブリーチングでは数ミクロン程度のグレーティングまでしか作製できなかった。これに対し、現像・リンスによるエッチングではサブミクロンまで加工可能であることを確認したが、細くなるに従いブリーチングによる影響が大きいことが分かった。この基礎特性をふまえて、CAD を用いて CGH パターンを DR1/PMMA 薄膜に記録し、アクティブな回折光学素子の作製を行った。今回、5×5 のスポットを作るダマングレーティングを作製し、EO 効果による変調を確認した。ただし、この場合 EO 効果による屈折率変化量を考慮すると実用的な変調デバイスとはなりえず、より実用的な素子構造(1次元の導波路型 DMG など)を考える必要がある。このことから、CAD を用いて作製した CGH やキノフォームに非線形を持たせることができ、アクティブなパターン制御が可能であることを確認した。

今回、EO 効果による変調実験で利用したアゾベンゼン高分子薄膜の EO 定数は数 pm/V から LN 程度の 26pm/V であった。現在では LN の 2~3 倍の EO 定数を持つものが開発されている。さらに、吸収領域の波長を持つレーザーを用いて、吸収効果を利用すればさらに見かけ上の EO 定数を大きくすることが可能である。これらを利用すればさらに大きな変調を得ることが可能となり、より実用的な光変調デバイスが作製可能であると考えられる。

さらに、レーザー表面変調法を用いたデバイス作製法により、表面レリーフホログラム記録及び回折光学素子の作製を行った。ホログラム作製として、文字及び 3 次元物体を用いてフレネル及びフーリエ変換ホログラムの作製を行った。文字を用いたホログラム記録では十分実用的な記録が可能であることを確認した。また、SRG の回折効率がポーリングにより増加できることを利用して、記録したホログラムの回折効率の増強法を提案し、その有効性を確認した。これに対し、3次元物体を用いたフレネルホログラム記録では、記録強度が弱く記録時間に長時間要した。これを解決する方法としては、ポーリングによる回折効率の増強、ハイパワーレーザーの使用又はアシスト光による記録速度向上などが有効であると考えられる。さらに、光拡散体のような回折光学素子への応用を提案し、優れた特性を持つ拡散体作製が可能であることが確認した。

以上のように、本研究では多くの興味深い結果が得られた。しかし、実用化のためには EO デバイス応用では変調度の向上、光記録応用では感度向上が最大のかぎであり、これを解決することで本研究で報告した技術は、光インターコネクションや光記録の分野で使われていくと考えられる。