「強誘電体の分極反転によるレーザー光制御の新展開」 解説小特集号によせて

山本 和久

松下電器産業(株) メディア制御システム開発センター(〒570-8501 大阪府守口市八雲中町3-1-1)

Preface to Topical Papers on Laser Light Control Technology by Periodically-Poled Ferroelectrics

Kazuhiya YAMAMOTO

Storage Media Systems Development Center, Matsushita Electric Industrial Co. Ltd.

3-1-1 Yagumo-Nakamachi, Moriguchi, Osaka 570-8501

(Received September 25, 2003)

強誘電体である $\text{LiNbO}_3/\text{LiTaO}_3$ 系材料を中心に周期状分極反転形成技術が飛躍的に進歩し、これを用いた各種レーザー光の制御デバイスが提案、実現されつつある。周期状分極反転により、材料そのものでは困難であった波長変換、また新規な電気光学デバイス実現が可能となる。例えば光情報処理に使うSHG青色レーザーや紫外レーザー、光通信分野でのコンバータ、パルス制御、そしてレーザー変調器、偏向器等である。

擬位相整合方法がArmstrong等により提案されて40年が過ぎ、1980年代後半より種々の周期状分極反転方法が提案され、1990年代にはこの技術を用いたSHG (Second Harmonic Generation)等の波長変換デバイスが実用化された。この過程で非線形材料改良へとフィードバックされるという好循環が生じ、これにより反転方法の改善、さらには新規デバイスの提案、そして実証と、21世紀に入っての進展は著しいものとなっている。周期状分極反転技術、材料および応用の進展をFig. 1に示す。

分極反転用材料としては、 LiNbO_3 に引き続きKTP (KTiOPO_4)、 LiTaO_3 で反転が確認された。最近では非線形定数が大きく耐光損傷性に優れた MgO ドーパ LiNbO_3 結晶の利用が広がりつつある。Fe等の不純物の低減、およびウエハ面内での屈折率ばらつき低減等の高品質化に加えて、反転技術も進んだためである。さらには、材料特性が優れた定比組成(ストイキオ) LiNbO_3 および LiTaO_3 においても良質な結晶が育成、販売されている。定比組成 $\text{LiNbO}_3/\text{LiTaO}_3$ はコングルエント組成結晶に比べ、非線形定数、電気光学定数が増大するだけでなく、短波長の吸収端が伸びる等、レーザー制御・波長変換には極めて有効な材料である。この材料への周期状分極反転形成およびデバイス化も始まっている。

反転方法は拡散法に始まり、室温での反転形成は困難

と言われていた電界印加方法が現在主流となっている。当初は結晶の表面だけの周期状分極反転形成であったが、現在では結晶全体(表面から裏面まで貫通)に形成できる技術が確立している。最近では深く、均一な周期構造の形成のための分極領域コントロールが行われている。より短周期、より深くという目標のもと、最近では $800\text{ nm} \times 0.2\text{ mm}$ のバルク結晶周期状分極反転が $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ にて形成されている。

周期状分極反転の応用としては、波長変換としてのSHG, SFG (Sum frequency generation), DFG (Difference frequency generation), OPO (Optical parametric oscillation)が一部の産業分野で実用となっている。身近な所では、短波長への変換であるSHGを用いた青および緑色光源が搭載されたレーザーフォトリソプロッターにより高画質写真プリントが実現できている。また、高密度光メモリ、バイオ等には紫外～青色SHGレーザーの波長変換デバイスが要望されており、SHGを用いた波長変換は情報処理、記憶、表示および計測に有望な技術である。高効率化が図れる導波路デバイスだけでなく、半導体レーザーの高出力化にともない構成が簡単なバルクデバイスも注目を集めている。

DWDM光ネットワークシステム、さらには将来のフォトニックネットワークのキーデバイスとして、波長コンバータを中心に光サンプリング、超高速光スイッチング等が期待される。赤外波長への波長変換、さらにはTHz波発生過程での分極反転結晶を利用した研究も盛んである。また、周期状分極反転デバイスによる2次の非線形を利用し位相シフトを生じさせフェムト秒領域の制御を行うアプローチも盛んになりつつある。非線形波長変換によるダウンコンバージョンを用いたエンタングル光子ペア生成、スクイズド光発生等の光量子応用関連への応用

Fig. 1 Progress of periodically poling technique and its application.

が注目されている。

一方、分極反転技術により電気光学デバイスの応用範囲を広げることが可能である。電圧印加時に反転構造の有無による屈折率変化、位相変化が生じることを利用しレーザー光の変調等の制御が可能となる。また、三角プリズム状に構造化することによる偏向器、レンズ形状を用いた焦点可変レンズも興味があるところである。

強誘電体を用いた半導体メモリ (FeRAM) とは異なる強誘電体メモリとして、10 nm 程度の分極制御が行われており、1 Tbit/inch² を越える超高密度メモリの研究も行われて

いる。分極反転のメカニズム解明により、微小分極反転形成方法もさらに進展し、新規デバイスの創出が期待される。

本解説小特集号では強誘電体の分極反転によるレーザー光制御および波長変換の新展開として、上述したような次世代光情報関連(通信、蓄積、信号処理、表示)、計測、バイオ分野におけるキーデバイスとなる有望な技術を取り上げる。紙面の都合件数は限らせていただいたが、ここでは取り上げなかった興味あるアプローチも多く提案されており、今後のさらなる発展性に期待したい。