レーザーエコー

電圧制御型グレーティングをもつ光集積回路デバイス

Applications of Electrooptic Gratings in Integrated Optics Devices

C. M. Verber*

(訳) 春 名 正 光**

光導波路中での電気信号と光の相互作用あるいは光の制御を行う上において、電気光学効果は非常に有効な手段である。ここでは電気光学結晶基板上に形成されたプレーナ光導波路を対象とし、この導波路上にフォトリソグラフィ技術によって作製したくし形電極を用いて、位相グレーティングを誘起する。この位相グレーティングと導波光の相互作用を利用して、種々の有用な光デバイスを構成することができる。

通常、電気光学デバイス用の導波路はLiNbO₃を基板として作製される。LiNbO₃にチタン(Ti)を熱拡散することによって¹⁾結晶表面に高屈折率層が形成され、光波はこの部分に閉じ込められる。高屈折率層の厚さはただか数ミクロンなので、導波光は表面に設けられたくし形電極の直下を伝搬することになる。

図1 周期 Λ 、深さ d をもつ電気光学グレーティングを誘起するためのくし形電極構造。

くし形電極構造の一例を図1に示す。この電極に V なる電圧を印加すると、結晶の電気光学効果を通して導波路中に周期的な屈折率変化が生ずる。この屈折率変化量は

$$\Delta n = \frac{1}{2} n^3 r_{ij} \left(\frac{2}{\pi} \right) \left(\frac{V}{\Lambda/4} \right) \quad (1)$$

で与えられ、ここで n は平均的な屈折率、又 r_{ij} は結晶の光学軸と印加電界方向で決る適当な電気光学係数である。

今、波長 λ の光が位相グレーティングに対してブラッグ角

$$\theta_B = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{2\Lambda} \right) \quad (2)$$

で入射したとすれば、入射光と回折光の成す角は $2\theta_B$ となり、又そのときの回折効率

$$\eta = \sin^2 \frac{\pi \Delta n d}{\lambda_0 \cos \theta_B} \quad (3)$$

となる。ここで λ_0 は光の自由空間波長で $\lambda_0 = n\lambda$ 、又 d はグレーティングの深さ(すなわち図1において2つの対向するくし形電極の重なり部分の長さ)である。式(1)、(3)より、回折効率 η は印加電圧 V によって容易に制御できることがわかる。Y板LiNbO₃Ti拡散光導波路で、He-Neレーザー光を用いて励起した導波光を結晶のX軸に沿って伝搬させたとき、くし形電極のピッチが $\Lambda = 8 \mu\text{m}$ であれば、回折効率は

$$\eta = \sin^2 (0.26 V d) \quad (4)$$

ここで d の単位はmmである。従って、この場合には1mmのグレーティングの深さであれば、わずか6.1Vの印加電圧で100%の回折効率を得ることができる。

このように、電気光学グレーティングは低電圧駆動という特徴の他に、その電極間容量が小さいために、高速で光スイッチングを行うこと

本資料は今年2月4日～6日東京で開催されたエレクトロ-optics/レーザー'82セミナー(レーザー学会主催)のテキストの一部である。

* Battelle Columbus Laboratories, 505 King Avenue, Columbus, Ohio 43201)

** 大阪大学工学部電子工学科(〒565 吹田市山田丘2-1)

ができる。それ故、この電気光学グレーティングICデバイスをGHzオーダの高速光変調器として使用することもできる。この種の光変調器はこれまで数件の報告があり²⁾、これらは応用面から見て従来の機械的なものあるいは音響光学デバイスより優れている。

上記の電気光学グレーティングに若干の修正を加えることによって、いろいろな機能を有するデバイスを構成できる。その一例を図2に示

図2 N個に分割されたくし形電極より成るIOSLMの基本構造。(a)1つおきに電圧を印加した場合、(b)その時に得られる回折光の空間分布。

す。ここではグレーティングを長くし、一方の電極をN個に分割し、その各々が独立に外部から制御できる。図に示すように、このデバイスによって入射光ビームに横方向の振幅変調を与えることができる。従って、これを空間変調光IC (Integrated optical spatial light modulator: IOSLM) と呼ぶことにする。

IOSLMの電極分割数Nはフォトリソグラフィの分解能とリード線引き出し用の電極パッドの占める面積によって制限される。我々が試作したデバイスでは $N=32$ である³⁾。1素子あたりのグレーティングピッチ $\Lambda=8\mu\text{m}$ 、本数を10とすると $N=100$ とすることも可能である。このIOSLMを用いれば、ShubertとHarris⁴⁾が最初に提案したフーリエ変換用光ICにデータ処理機能を付与することができる。一方、IOSLMと表面弾性波 (SAW) 素子と組み合わせて、もっと簡便でかつ有用なデバイスを構成することもできる。

IOSLMとSAWトランスデューサを組み合わせ、並列信号から直列信号への変換器あるいは時分割方式の多重送信器を構成できる。今、N個の電源からIOSLMに並列データを入力する。SAWトランスデューサは、IOSLMによる回折光とSAWがブラッグ角を成すように配置されている。従って、光は2度回折されることになり、この2度の回折を経験した光が検出される。

図3 デジタル相関器の構成図。IOSLMには参照信号電圧が印加され、SAWはデータ信号で変調される。

SAWは $t \ll w/v_a$ の幅をもつ rf 信号パルスによって励起されるが、ここで w はIOSLMの1素子あたりの幅で v_a はSAWの依搬速度である。IOSLMの各素子からの出力はSAWパルスによって次々とサンプルされる。このようにして、100Mビット/秒程度の速度をもつ並列-直列信号変換器あるいは時分割方式の多重送信器を構成できる。

IOSLMとSAWトランスデューサの組み合わせでできる第2の光ICは、図3に示すようなデジタル相関器である。³⁾ 図4の実験構成図に示すように、まずIOSLMにある特定の参照信号を入力する。次に、ビット幅 $t = W/v_a$ のデジタル変調 rf 信号でSAWトランスデューサを駆動

図4 相関器の実験系

する。SAWによって発生するグレーティングパターンでIOSLMによって発生する定常的な光強度パターンを走査したとき、検出器Bに入る光の強度は、IOSLMに印加した入力参照信号とSAWを駆動するデジタル信号のコンプリメントとの相関に比例する。我々は32ビットの並列信号を17.5Mビット/秒の速度で処理するこのようなデバイスを既に報告しており、³⁾ 現在デバイス構造を改良してS/N比の改善を行っている。実験中のデバイスは32Mビット/秒の速度で動作し、かつ32ビットの並列信号を処理できるものである。

さらに、この電気光学グレーティングを用いて簡単な算術や論理演算も実行することができる。図5 aに示す例では、グレーティングによる回折光の強度は2つの入力電圧の差に比例する。従って、このデバイスを用いて引き算がで

図5 演算を行うためのグレーティング構造、(a)引き算、(b)掛け算。

きる。又図5 bのような特殊な電極構造では、隣接する2つのグレーティングの回折効率の積に比例して光ビームは回折される。印加電圧を2値の入力信号とすればこれでANDゲートを構成できる。

図6(a)(b)(c)はベクトル演算用の構成図で、同一素子を縦方向にいくつか並べたものである。レンズですべてのグレーティングからの回折光を1個の検出器に集光することによって、ベクトルの引き算及び掛け算あるいはベクトルの行列演算を実行できる。

以上のように、容易に作製できる電気光学グレーティングのいくつかの応用について述べてきた。これらのグレーティングは高い回折効率を有すると同時に、低電圧駆動であることが要求される。さらに、この電気光学グレーティングに若干の修正を加えることによって高速光変調器が構成でき、これらは空間光変調器あるいは多重送信用の相関器や演算器のコンポーネントとして使用できる。

図6 ベクトル演算用のグレーティング構造

参考文献

- 1) R. V. Schmidt and I. P. Kaminow, Appl. Phys. Letts. **25**, 458 (1974).
- 2) J. M. Hammer and W. Phillips, Appl. Phys. Letts. **24**, 525 (1974).
R. L. Holman and P. J. Cressman, Tech. Digest, Topical Meeting on Integrated and Guided Waves Optics, Incline Village, NV, Jan. 28—30, 1980, paper TuE6.
- 3) C. M. Verber, R. P. Kenan, and J. R. Busch, Appl. Opt. **20**, 1626 (1981).
- 4) R. Shubert and J. H. H. Harris, IEEE Trans. Microwave Theo. & Tech., **MTT-16**, 1048 (1968).