

バイアス電圧を要しない櫛型電極光変調器 II

西 協 彰*

A Light Modulator with Interdigital Electrodes Requiring No Bias Voltage II

Akira NISHIWAKI

(Received March 31, 1982)

The electrooptic light modulator with interdigital electrodes had satisfactory characteristics about the frequency response, the modulating voltage, and the thermal drift of the operating point. In spite of this, the modulator showed a drift of the operating characteristic with the progress of time after applying a moderate voltage of DC bias. To improve this trouble, the author tried to produce the same refractive index variation inside the crystal as induced by the DC bias fields between the interdigital electrodes using thermal diffusion of metallic ions. Because there remained a little unsatisfactory problem in the results obtained in the previous paper¹⁾, some attempts are made to improve it. As a result, almost ideal built-in refractive index variations can be realized in the electrooptic crystal and the unsatisfactory problems mentioned above are removed.

1. はじめに

電気光学効果をもつ強誘電体単結晶の表面に着けた櫛型電極によって結晶内に誘起した屈折率変化を、回折格子として働かせる方式の光変調器は²⁾、いくつかの優れた特性³⁾を持つ反面、実用上の難点⁴⁾もあることがわかった。変調歪を少なくするためにこの変調器をA級で動作させる際には、或る適当な大きさの直流バイアス電圧を極間に印加するが、長時間にわたってこの電圧の印加が続くと、変調特性が変化するという問題であった。電極間隔が狭いため、極間の結晶内電界は 10^5 V/m のオーダーとなり、結晶内部で電子やイオンに片寄った蓄積が生じ格子を歪ませ屈折率を変化させるためと予想される^{5, 6)}。これを回避するために、A級動作の光変調を行

うに要する直流バイアス電圧によって生ずる部分の屈折率変化を、あらかじめ強誘電体結晶内に静的に、構造的に埋めこむことにしたわけである¹⁾。電気光学効果をもつニオブ酸リチウム (LiNbO_3) の単結晶に、チタン (Ti) イオンを表面から熱拡散させ屈折率を上げ導波路をつくる試みがいくつか報告されている^{7, 8)}。たとえば^{9, 10)}、単結晶表面上にスパッタリング法により Ti の膜厚 $2000 \text{ \AA}$ 、膜の形は幅 $30 \mu\text{m}$ の帯状に着け、拡散条件として 1000°C で 100 時間の場合、表面近傍で 0.5% の屈折率の上昇がみられ、 $10 \mu\text{m}$ 内部では 0.25% の変化があり、影響は $20 \mu\text{m}$ ぐらいまで及ぶというものである。文献 1) の報告では、このような数値例が精しい測定結果として得られていなかったため、過大な屈折率変化をつくってしまっていた。このため、イオンを拡散させた変調素子の変調特性が、拡散しない素子の特性に較べかなり劣化

*電子工学科 (Department of Electronic Engineering)

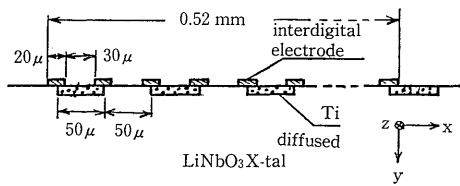
した。この報告は、それを克服し拡散なしの特性に近い、直流バイアスなしでA級の交流変調がかけられる特性を得たことを述べる。

2. チタンの熱拡散と得られた変調特性

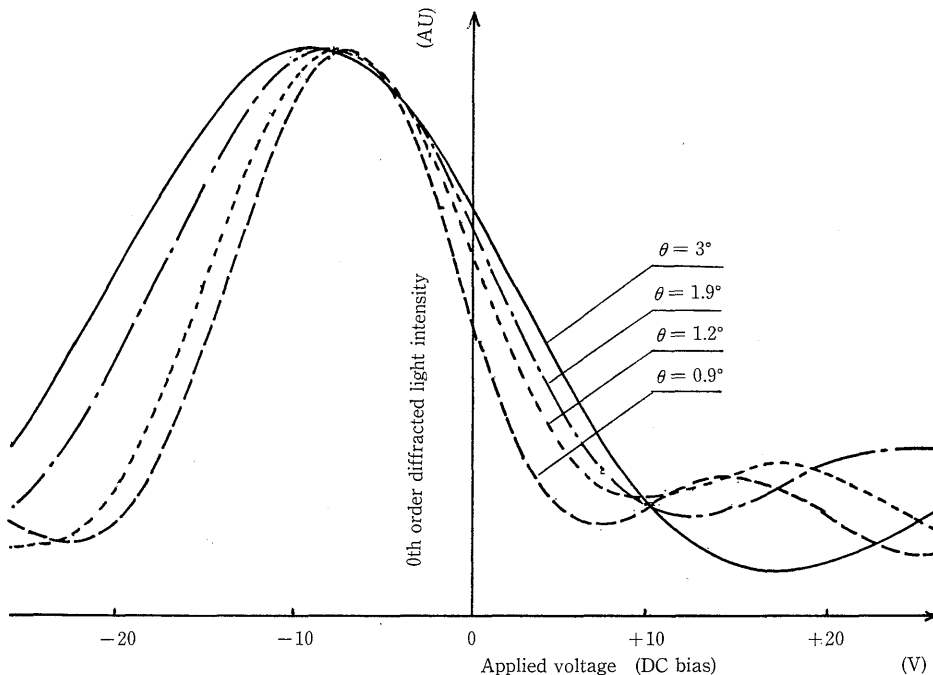
熱拡散によるイオンの分布、もしくは屈折率変化の分布のプロファイルは、ひとつの単純な関数で表現することは出来ないようである。実測⁹⁾や熱拡散法で導波路をつくり、その導波モードの分布からの予測⁹⁾によると、ガウス型に近いといわれている。式で表わすと、 y を第1図のようにとって

$$n(y) = n_s + \Delta n \exp(-y^2/D^2). \quad \cdots(1)$$

ここで、 $\Delta n = n(0) - n_s$ 、 n_s は拡散前の結晶の屈折率、 D は拡散の深さと定義される距離である。 Δn や D は、結晶とイオンの組合せ、最初表面に堆積したイオンの量、堆積のパターン、拡散温度、拡散時間などで変化する。TiイオンのLiNbO₃結晶に対する拡散については、前述の値が標準的である。



第1図 チタニオンを熱拡散させ、あらかじめ周期的な高屈折率分布をつくった変調素子。

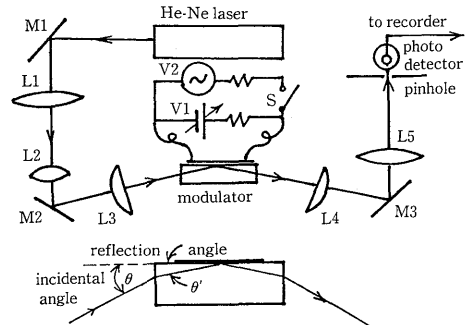


第3図 イオン熱拡散型変調素子のうち、最適と思われる特性例。パラメータは入射角。

また、屈折率変化に伴う波数 k の光波に対する位相変化 φ は、

$$\varphi = k \int_{-L/2}^{+L/2} \Delta n \exp(-y^2/D^2) dz \quad \cdots(2)$$

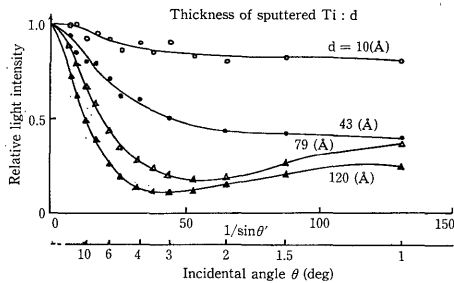
ここで、 L は変調素子の有効長であり、 $y = |z| \theta / n_s$ とあらわされる。 θ は第2図に示した入射角である。 L を10mmとして、 Δn を0.5%とすると、 φ は数百 π のオーダーとなる。



第2図 特性測定系と変調素子への入射角 θ 、変調素子内部での反射角 θ' などの定義。M1～M3は反射鏡、L1, L2, L5は焦点距離それぞれ60, 30, 700mmのレンズ、またL3とL4は等しく焦点距離80mmの円筒レンズである。

そこで、スパッタリングによって着ける Ti の量と、拡散時間をそれぞれ数百 Å 以下、10 時間以下（拡散温度はほぼ 1000°C）に選んで変調素子を作製した。

変調素子の特性測定は、第 2 図に示すような系で行った。図中 V1 は直流バイアス電源である。得られた特性のうちで、最適に近いと考えられる例を第 3 図に示した。縦軸は、任意単位 (AU) で、素子からの出力光のうち零次の回折成分の強度をとり、ゼロバイアス点を中心にして、正負のバイアスを印加したときの光強度変化の様子を示している。入射角をパラメータとしてある。入射角が小さくなると、光は屈折率変化の強い結晶表面近傍を有効に通過するので特性は敏感になる。入射角が変わると、ゼロバイアス点での直線性も変化する。これから最適の入射角をきわめることができる。第 3 図の特性の素子であれば、ゼロバイアスで歪の最も少ない変調を行わせるには、入射角をおよそ 1.5° に選べばよいわけである。



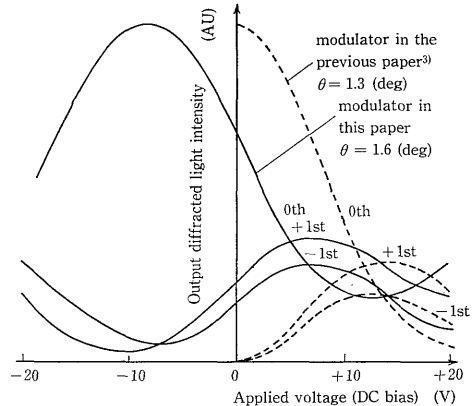
第 4 図 拡散前のスパッタリングによって結晶表面上に着けたチタンの膜厚 d をパラメータとした変調素子のゼロバイアスでの回折特性。縦軸は素子出力ゼロ次光強度、横軸は結晶内での光の有効距離。

第 4 図は、はじめに結晶表面に着ける Ti の量をパラメータにして数個の素子をつくり、バイアスゼロの状態に入射角を変化させたときの出力零次回折成分の強さの変化を示している。横軸のとり方が反射角の正弦の逆数としたのは、この量が素子内での光の有効通過距離に近似的に比例するからである。有効距離変化に対し光量変化の見られぬ素子は、屈折率変化が少なすぎることを意味している。逆に入射角が大きくて有効距離が小さいところで零次回折光が減少するのは、屈折率変化が大きくなりすぎていることを示している。最も好ましい場合は多く用いられる入射角の範囲 (θ が 1°~3°) 内で有効距離ゼロの極限の値のほぼ二分の一となり、それより有効距離が減少したら回折能率が落ちるようなものであるは

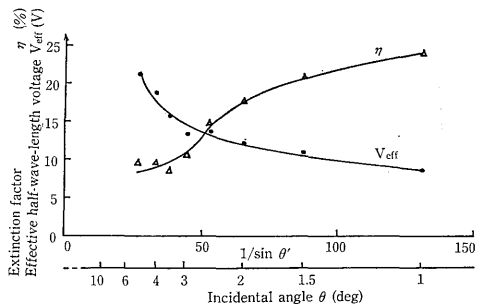
ずである。第 4 図からこのことを判断すると、Ti の膜厚が 43(Å) の場合が最適であることがわかる。

3. 検討

前節で述べた最適条件のイオン拡散型変調素子は、Ti の膜厚を 43(Å) 前後とし、拡散温度 990°C、拡散時間 6 時間でつくることができたのである。



第 5 図 得られた最適特性（実線）と、イオン拡散をしない型の素子の典型的な特性（破線）との比較。



第 6 図 イオン拡散型変調素子の消光比と実効的な半波長電圧の入射角依存性。

この素子について得られた特性は、第 5 図に示した。また、イオン拡散を行わない LiTaO₃ を電気光学結晶とした素子の特性を破線で示した。両者をくらべると、消光比（零次成分について、最大出力光に対する最少出力光の比）が悪化していること、零次光の鋭さが幾分悪化（実効半波長電圧が幾分大きい）しているが、実用的な直線性のよい光変調素子として、満足できるものと考えている。消光比と実効半波長電圧²⁾の入射角についての変化の様子を第 6 図に示した。

4. おわりに

楕型電極をもつ光変調器が、A 級動作をさせるために必要な直流バイアスのために、動作点をドリフトさせ、

時間の経過とともに歪のある変調を行うに至るという不都合さを、イオン拡散法により電気光学結晶内にあらかじめビルト・イン（つくりつける）した回折格子で回避しようと試みた。こうして得られた変調素子は、従来型にくらべ消光比は2倍程度悪化したか、バイアス用の直流電源を必要とせず回路構成上大きなメリットを生みだしたし、動作が安定化されたので、より実用的なものとなった。

直流バイアスによる動作点ドリフトの問題は、そのメカニズムを十分に解明しなければならない種類の問題である。強誘電体の光損傷の問題と関連づけて、今後追求したいと考えている。

おわりに、本稿をまとめるのにあたり御協力下さった方々に、心から感謝の意を申し上げたい。日頃御指導給わっている名古屋大学工学部服部秀三先生、勇気づけて下さった本学の宮内省司氏、貴田桂介氏、太田健次氏、

実験を全面的に手伝って下さった平岩康幸氏、名城大学理工学部米田勝実先生、多和田昌弘先生らに多くを負っている。

参 考 文 献

- 1) 西脇彰：中部工大紀要，Vol.13-A，pp.67-72，1977.
- 2) 西脇彰ら：信学技報，QE72-67，1972.
- 3) A. Nishiwaki, et al : Optics and Laser Technology, Vol. 11, pp.37-43, 1979.
- 4) 平岩康幸ら：信学全会予稿，4-86，No. 782，1977.
- 5) 吉野勝美ら：固体物理，Vol. 13，pp.720-725，1978.
- 6) 豊田博夫：固体物理，Vol. 13，pp.710-714，1978.
- 7) M. Johnson and C.W. Pitt : Optics Communications, Vol. 23, pp. 121-124, 1977.
- 8) P. S. Chung, et al : Microwave, Optics and Acoustics, Vol. 2, pp.201-203, 1978.
- 9) 斎藤昇一ら：第38回応物学会予稿，13p-D-8，1978.
- 10) 皆方誠ら：第38回応物学会予稿，13p-D-9，1978.