

## 最近の技術から

# BaTiO<sub>3</sub> と位相共役 (II) — 発生とその応用

本多 德行

計量研究所 〒305 つくば市梅園 1-1-4

### 1. ま え が き

単分域化 (poling) の処理を行なった BaTiO<sub>3</sub> の単結晶は、大きな photorefractive 効果 (光の照射により誘起された空間的な電荷の分布が、ポッケルス効果により屈折率の変化をもたらす現象) を示すので、mW オーダーの低いパワーのレーザーでも十分に位相共役波を発生させることができる。また、外部からポンプ波を供給することなく位相共役波を発生させる、いわゆる自己ポンプ型の位相共役鏡の形成も容易である。そうしたことから BaTiO<sub>3</sub> は位相共役波発生のための媒質として盛んに利用されている。以下では BaTiO<sub>3</sub> の位相共役波への応用について研究の現状を紹介する。

### 2. BaTiO<sub>3</sub> の photorefractive 効果

Photorefractive 効果は次のように4段階に分けて考えることができる。

- I. 空間的に強度分布をもった光の照射
- II. 光の強度分布に応じた自由キャリアの生成、移動および再トラップ
- III. 電荷密度の分布による電場の形成
- IV. ポッケルス効果を介した屈折率の変化

BaTiO<sub>3</sub> が大きな photorefractive 効果を示す理由の一つは、電気光学係数が大きいこと ( $r_{42}=16.4 \times 10^{-10}$  m/V)<sup>1)</sup> である。また、BaTiO<sub>3</sub> において、可視の光に対し自由キャリアの生成・再トラップが起こるのは、色中心すなわち何らかの格子欠陥が存在しているためである。したがって、結晶に含まれる不純物<sup>2-4)</sup>、アニールの雰囲気<sup>5)</sup> や酸化・還元<sup>6)</sup> により photorefractive 効果の特性は大きく変化する。結晶の温度を 20°C から 120°C に上げることにより応答時間が二桁程度短縮するとの報告もある<sup>7)</sup>。しかし、自由キャリアの生成や移動を含め、BaTiO<sub>3</sub> の photorefractive 効果の機構に関してはなお不明の点が多い。物理的興味だけでなく、位相共役鏡の反射率や応答時間の向上といった観点からもいっそうの研究が必要である。とくに応答時間は、過去の多くの実

験例において mW オーダーのパワーの光に対し数秒と遅く、今後の課題である。

### 3. 位相共役波の発生法

BaTiO<sub>3</sub> を用いると、photorefractive 効果が大きい。ため、通常の縮退4光波混合のほか、自己ポンプ (self-pump) と呼ばれる方法で位相共役波を発生させることができる。この方法において、結晶に入射するのはプローブ波のみである。ポンプ波は、結晶の内部で photorefractive 効果によりプローブ波から自動的に生成される。BaTiO<sub>3</sub> はこの自己ポンプによる位相共役波の発生が可能な代表的結晶である。自己ポンプの位相共役鏡としては、ポンプ波の光路に外部鏡を利用する場合<sup>8)</sup> と結晶の内部反射を利用する場合<sup>9,10)</sup> があり、ここでは図1により後者について説明する。結晶に異常光線 (この場合電気ベクトルが入射面内に振動する光線) が入射すると、photorefractive 効果により結晶内部に屈折率変化が生じる結果、光線が扇状に広がる (beam-fanning)。扇状に広がった光線が結晶の一辺に向かって照射すると、結晶の側面での2回の反射により後方にもどされる。その結果互いに逆方向に進む2光波が形成され、これがポンプ波となってA、Bの2か所で4光波混合が起こり、位相共役波が発生する。結晶の内部反射を利用した自己ポンプの位相共役鏡はこのようにきわめて単純であるが、mW 程度の低いパワーの光に対して 20~30% 程度の反射率を示す。

自己ポンプのほか、互いにインコヒーレントな2光線を結晶に入射してそれぞれに対し同時に位相共役波を得る方法もある<sup>11,12)</sup>。この場合、一方の光線に対する位相共役波は他方の光線より生成される。にもかかわらず位相共役波はそれぞれの光線に対して独立に得られ、2光線に別々の画像を与えた場合にも、それぞれの位相共役波において画像のクロストークは起こらない。

### 4. BaTiO<sub>3</sub> 位相共役鏡の応用例

図2は、マイケルソン干渉計の一方の鏡を自己ポンプ

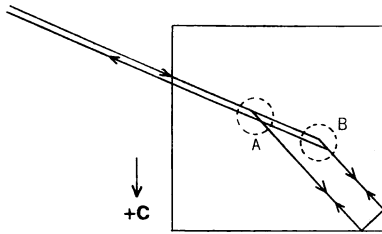


図 1 結晶の内部反射を利用した自己ポンプ型位相共役鏡

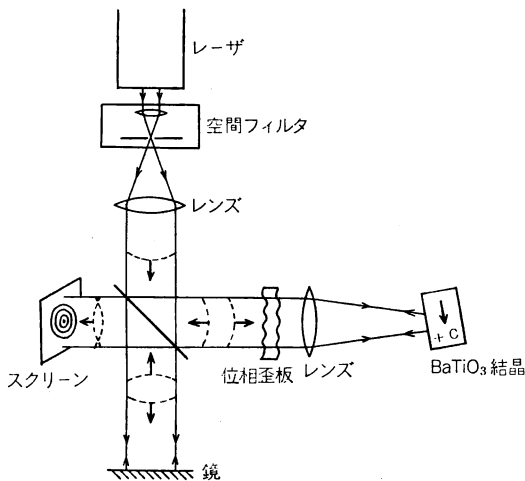


図 2 自己ポンプ型位相共役鏡を用いた干渉計

型の位相共役鏡で置き換えた例である<sup>13)</sup>。この干渉計では、ビームスプリッタと位相共役鏡との間に位相歪板を置いて、ビームの波面の位相歪は補償されるのできれいな等厚の干渉縞が観測される。一方、自己ポンプ型の位相共役鏡の性質により、空間的に一様な位相変化はキャンセルされない。したがって、位相共役鏡を左右に変位させると通常の鏡を用いたマイケルソン干渉計と同様に干渉縞が変化する。このような干渉計は、大気ゆらぎなどによる悪環境下における変位の測定に有効であると考えられる。

また、ビームスプリッタで二つに分けた光を同時に一つの BaTiO<sub>3</sub> 結晶に入射させ、それぞれに対する位相共役波を発生させると、マイケルソン干渉計の両方の鏡を一つの位相共役鏡で置き換えることができる。この干渉計の定常状態での出力は、干渉計の腕の長さの差にかかわらず暗縞となる。しかし、干渉光路の一方に空間位相変調器を挿入し、光の位相に急激な変化を与えると、そ

れに対応して明るい部分が現われる。これは、位相共役鏡が有限の応答時間をもつためである。この性質を利用し、“novelty filter” (時間的に変化する情報を抽出する装置) を構成することができる<sup>14)</sup>。たとえば空間位相変調器にテレビカメラを接続すれば、カメラに取り込まれる画像から時間的に変化する情報を抽出して表示することができる。

そのほか、光連想メモリ<sup>15)</sup> や光ファイバジャイロスコープ<sup>16)</sup> など、多数の応用が提案されている。

## 5. む す び

BaTiO<sub>3</sub> は、位相共役波の発生に用いられる媒質のなかでも興味を刺激する魅力に富む。さまざまな応用も提案されているが、まだ実用の域には達していない。今後の発展のため、良質な結晶の入手がより容易になることが望まれる。

## 文 献

- 1) A. Yariv: 光エレクトロニクスの基礎, 原著 3 版, 多田邦雄, 神谷武志訳 (丸善, 東京, 1988) p. 308.
- 2) R. S. Hathcock, D. A. Temple and C. Warde: IEEE J. Quantum Electron., **QE-23** (1987) 2122.
- 3) P. G. Schunemann, D. A. Temple, R. S. Hathcock, H. L. Tuller, H. P. Jenssen, D. R. Gabbe and C. Warde: J. Opt. Soc. Am. B, **5** (1988) 1685.
- 4) P. Moretti and F. M. Michael-Calendini: J. Opt. Soc. Am. B, **5** (1988) 1697.
- 5) P. G. Schunemann, T. M. Pollak, Y. Yang, Y.-Y. Teng and C. Wong: J. Opt. Soc. Am. B, **5** (1988) 1702.
- 6) S. DuCharme and J. Feinberg: J. Opt. Soc. Am. B, **3** (1986) 283.
- 7) D. Rytz, M. B. Klein, R. A. Mullen, R. N. Schwartz, G. C. Valley and B. A. Wechsler: Appl. Phys. Lett., **52** (1988) 1759.
- 8) B. T. Anderson, P. R. Forman and F. C. Jahoda: Opt. Lett., **10** (1985) 627.
- 9) J. Feinberg: Opt. Lett., **7** (1982) 486.
- 10) M. C. Gower and P. Hribek: J. Opt. Soc. Am. B, **5** (1988) 1750.
- 11) M. D. Ewbank: Opt. Lett., **13** (1988) 47.
- 12) P. Yeh, T. Y. Chang and M. D. Ewbank: J. Opt. Soc. Am. B, **5** (1988) 1743.
- 13) J. Feinberg: Opt. Lett., **8** (1983) 569.
- 14) D. Z. Anderson, D. M. Linger and J. Feinberg: Opt. Lett., **12** (1987) 123.
- 15) 久間和生: 応用物理, **57** (1988) 1522.
- 16) I. McMichael, P. Beckwith and P. Yeh: Opt. Lett., **12** (1987) 1023.

(1988 年 11 月 12 日受理)