

最近の技術から

自己励起型位相共役鏡の応答速度

本多 德行

計量研究所量子部 〒305 つくば市梅園 1-1-4

1. はじめに

White¹⁾とFeinberg²⁾以来, フォトリフラクティブ結晶を用いた自己励起型の位相共役鏡に関して多くの研究がなされてきた³⁾. 自己励起型の位相共役鏡では, 結晶内に自発的に形成された回折格子によってプローブ光から一対の励起光が生成される. したがって, 外部から励起光を供給する必要がない. また, フォトリフラクティブ効果の性質から, ミリワット程度の低いパワーのレーザー光に対しても数十パーセント程度の高い反射率が得られる. しかし, 応答速度の遅いことが応用上の難点とされている. 応答速度に関しては, (1)材料の改善, (2)結晶の使用条件の最適化, (3)光の強度を高めるといった立場が考えられる. ここでは, (2)と(3)の例として, BaTiO₃ 位相共役鏡の応答速度の温度依存性, および反射型回折格子を利用した位相共役波の発生方法について述べる.

2. BaTiO₃ 位相共役鏡の応答速度の温度依存性

フォトリフラクティブ効果の応答時間は, 結晶の誘電率, 自由キャリアの移動度, および自由キャリアの密度に依存するが, これらのパラメータは結晶の温度の関数である. したがって, 位相共役鏡の応答速度は結晶の温度に依存する. 図1は, 現在広く用いられている, BaTiO₃ 結晶の内部反射型位相共役鏡²⁾について応答速度の温度依存性を調べた結果である⁴⁾. ここで, 応答速度の測定は次のようにして行った. すなわち, 2本の互いにコヒーレントなレーザービームを結晶に入射させ, その2ビームの間の相対位相を微小な振幅で正弦波状に変化させる. ここで, 入射する2ビームのなす角度を結晶の外で約 1.5° と比較的小さくし, 2ビームが結晶内ではほぼ重なり合うようにする. この2ビームはプローブ波の2成分とみなせるが, その成分間に与える位相変化と, 対応する位相共役波の成分間に現れる位相変化の間の周波数特性から応答時間を決定した. 図から, 結晶の

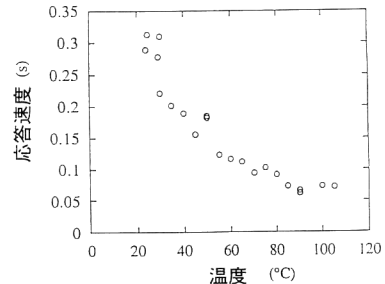


図1 BaTiO₃ 位相共役鏡の応答速度の温度依存性

温度を 25°C から 90°C に上昇させることにより, 応答時間が約 1/5 に短縮できることがわかる. また, この測定温度範囲で, 位相共役波の反射率は常に 30% 以上であった.

3. 反射型回折格子を利用した位相共役鏡

フォトリフラクティブ効果の応答時間は光の強度を高めることにより短縮することができる. したがって, 空間分解能が犠牲になることを許せば, 細く集光したビームを用いることによって応答速度を高めることができる. ただし, 位相共役波の発生のためには, 結晶の中でのビームの相互作用領域が十分に長いことが必要である.

図2に, 反射回折格子を利用したリング位相共役鏡を示す⁵⁾. プローブ光 A_p を結晶に入射させ, 透過した光を複数の鏡から成る環状の帰還光路にそって導き, A_1 として結晶に再入射させる. すると, 散乱光のうち A_1 と逆向きに進む光 A_2 と位相共役波 A_c が選択的に増幅されて立ち上がる. この配置において, A_p と A_1 のなす角を小さくすれば, A_p や A_1 が細く集光したビームであっても相互作用領域を十分に長くすることができる. KNbO₃ 結晶を用いて反射回折格子による位相共役鏡を構成し, 位相共役波の立上りを測定した例を図3に示す⁶⁾. プローブ光には, 波長 515 nm でパワーが 10 mW の単一周波数のレーザー光を直径 50 μ m に集光して用いた. 約 50 ms で定常状態の 90% の反射率に達し

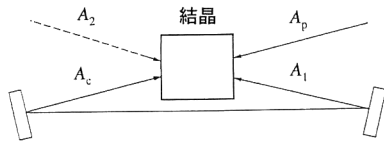


図2 反射回折格子を用いたリング位相共役鏡

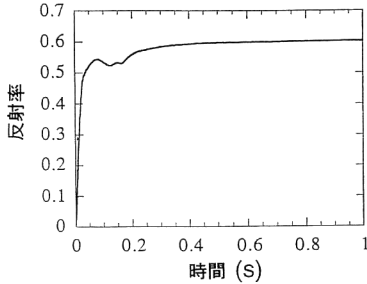


図3 位相共役波の立上り

ている。

ところで、細く集光したビームを用いることで、プローブ光の入射位置や入射角度に対する許容範囲が狭くなるのは実用的でない。そこで、帰還光路に3枚のレンズを挿入して、 A_1 が A_p の入射条件（位置および角度）の変化に対して自動的に追従する光学系を開発した⁶⁾。これにより、広い範囲の入射条件に対して安定に位相共役波を発生させることができる。

4. おわりに

フォトリラクティブ結晶を用いた自己励起型の位相共役鏡の応答速度を向上させる方法について述べた。このような方法が有効な応用として、長い距離の測定において問題となる、大気によるレーザービームのゆらぎの補正が考えられる⁷⁾。数百m程度の距離を測定する場合、数十 Hz 程度までのゆらぎが補正できれば十分と考えら

れるからである⁸⁾。今後は、位相共役波の時間的・空間的な安定性⁹⁾も考慮した位相共役鏡の性能の向上が望まれる。

最後に、常日頃、助言と協力をいただく松本弘一博士に感謝する。

文 献

- 1) J.O. White, M. Cronin-Golomb, B. Fischer and A. Yariv: "Coherent oscillation by self-induced gratings in the photorefractive crystal BaTiO₃," Appl. Phys. Lett., **40** (1982) 450-452.
- 2) J. Feinberg: "Self-pumped, continuous-wave phase conjugator using internal reflection," Opt. Lett., **7** (1982) 486-488.
- 3) 富田康生: "Photorefractive 効果とその非線形光学への応用", 応用物理, **59** (1990) 1154-1174.
- 4) T. Honda and H. Matsumoto: "Improvement of response speed of a BaTiO₃ self-pumped phase-conjugate mirror by crystal heating and beam focusing," Opt. Commun., **91** (1992) 390-394.
- 5) V. A. D'yakov, S. A. Korol'kov, A. V. Mamaev, V. V. Shkunov and A. A. Zozulya: "Reflection-grating photorefractive self-pumped ring mirror," Opt. Lett., **16** (1991) 1614-1616.
- 6) 本多徳行, 松本弘一: "入射条件に拘束されない反射回折格子によるリング位相共役鏡", 第54回応用物理学会学術講演会講演予稿集(1993年秋季) p. 892; T. Honda and H. Matsumoto: "Reflection-grating self-pumped phase conjugation with optical feedback free of input conditions," Appl. Opt., in press.
- 7) T. Honda and H. Matsumoto: "Effects of BaTiO₃ self-pumped phase-conjugation in 400-m atmospheric optical path," Jpn. J. Appl. Phys., **30** (1991) 3399-3402.
- 8) H. Matsumoto and K. Tsukahara: "Effects of the atmospheric phase fluctuation on long-distance measurement," Appl. Opt., **23** (1984) 3388-3394.
- 9) T. Honda: "Hexagonal pattern formation due to counterpropagation in KNbO₃," Opt. Lett., **18** (1993) 598.

(1993年10月28日受理)