

最近の技術から

最近の位相共役光学の進展

一つの光波に対して、その波面を反転させた波である位相共役波は、量子エレクトロニクス的なその発生法の研究もさることながら、波動光学的な種々の応用や光エレクトロニクス、分光学さらには光情報処理等への応用について多くの研究がなされ進展している。

非線形光学効果を利用する発生法では、ある入射波面に対して、瞬時にその全波面に対して共役波を発生するところに特徴があり、その特性や1980年以前までの応用に関する報告は文献1)を参照していただき、ここではその後の研究の進展について、われわれの研究も含め概観する。

一般に4光波混合法を用いて位相共役波を発生させる場合、媒質は非線形感受率 $\chi^{(3)}$ が大きいことと、用いるレーザー波長に対して透明であることが要求される。そのため、これまでは可視域のレーザーや、赤外でも10.6 μm の炭酸ガスレーザーでの実験が大勢を占めていた。紫外域での位相共役波の発生が可能になるとフォトリソグラフィやレーザー誘起核融合などへの新たな応用が期待されるわけでこの方面の研究が最近盛んである。最初の報告はFeldmanらによるもので、YAGレーザーの4倍高調波266nmを用い試みられた²⁾。媒質は非線形感受率の大きい CS_2 であるが、 CS_2 は一般に紫外域では不透明である。このため、ヘキサソールと混合して透過波長域の拡大を図るなどして、1mm厚のセルを用い位相共役波の発生を試みている。パルス幅15psのピコ秒パルスで4光波混合をセル中で行ない、位相共役波の反射率0.1%を得ている。その後、KrFレーザー(249nm)を用い種々の可飽和吸収色素(たとえばRhodamin 6G in EtOH)による共役波発生の実験と、その理論的解析なども報告されている³⁾。フォトリソグラフィへの位相共役波の応用では、IBMのLevensonらが Kr^+ イオンレーザー(413nm)と、非線形媒質に LiNbO_3 結晶を用い、分解能800lines/mm以上の格子パターン形成に成功している⁴⁾。レンズや鏡を用いず1個のビームスプリッターキューブのみで共役波の像投影を行ない、

収差やスペックルの影響のないきわめてきれいなパターン焼付を得ている。今後の実用化も大いに期待できそうである。

位相共役反射鏡で光共振器を構成する考えは、以前Yarivらによって報告されているが、モードロック発振も観測された⁵⁾。YAGレーザー発振器の一方の端に100%反射鏡と可飽和色素(Eastman Kodak A9740)を配し、まずQスイッチ発振させ、共振器内ポッケルセルで偏波面をスイッチしてビームを取り出し、同じ可飽和色素セルに角度をつけて入射させ位相共役反射を生じさせ、主ビームポンプによる自励型の位相共役共振器を構成している。一つの色素セルでQスイッチモードロッキング、位相共役反射鏡を兼ねた巧妙な方法である。40psくらいまでのパルス発振を観測しているが、ポンプ波に反射した共役波が含まれると2往復した後でも波面は整合せず、むしろロッキングを崩すことも考えられ議論の余地があろう。自励型では、このほかにHe-Neレーザーで BaTiO_3 結晶を用い、連続発振における位相共役共振器の横モードと出力の時間的変化についても調べられている。

位相共役波を用いて干渉計を構成すると、高感度検出が可能なが指摘されていたが、低入力レーザーポンプでの共役波反射を用い、マッハツェンダーおよびマイケルソン干渉計を構成して実験が試みられた⁶⁾。位相共役マッハツェンダー干渉計の例をFig. 1(a)に示す。Arレーザー光をまず2ビームにし、一方は透過物体光とし、他方はさらに分岐して可飽和色素共役反射セル(PCM)をポンプする。PCMからの共役反射波は M_6 で反射され、PCMの透過波は M_4 , M_5 を経て観測面で両者を干渉させる。その結果をFig. 1(b)に示す。干渉縞の線形性も良く高可視度のデータが得られている。原理は、位相共役波と元の波との干渉で位相が2倍になることに基づく。

ホログラムを用いて位相補償を行なう試みは、Kogelnikらによって報告されているが、4光波混合におけ

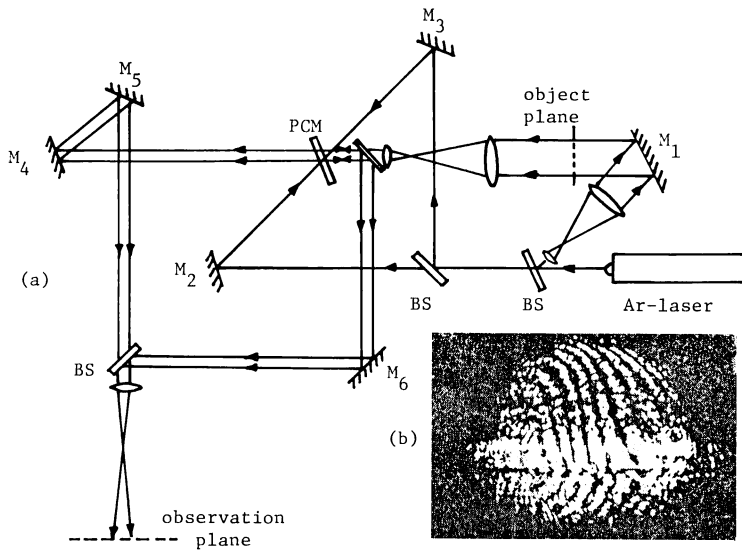


Fig. 1 位相共役マッハ・ツェンダー干渉計の構成図 (a), 直線性の良い等間隔高可視度のフリンジパターン (b)

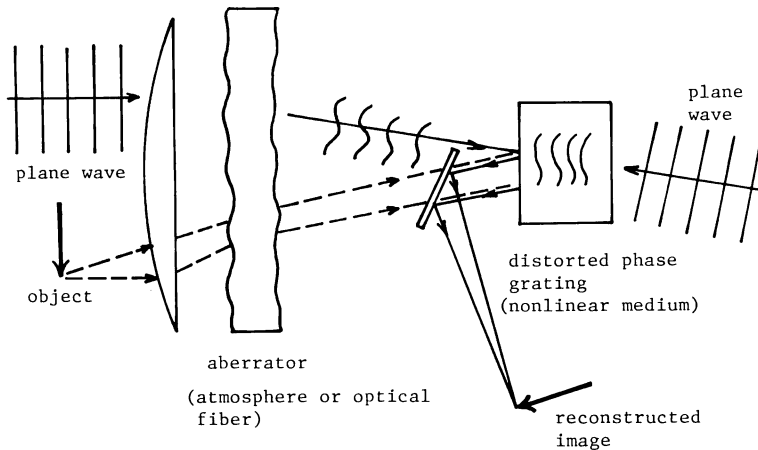


Fig. 2 One-way imaging のための歪位相回折格子の形成法

る実時間ホログラフィは種々の応用が考えられる。位相共役波を用いて位相歪を補償する方法は一般に往路と同じ復路を経た後に達成されるわけで、受信側のみでは位相歪を消せない。しかし、Fig. 2 のようにポンプ波にも同一の位相歪を乗せて、非線形媒質内にあらかじめ歪位相格子を形成しておく、信号光の位相歪は相殺され、共役波は歪のない像を形成できる⁷⁾。これはすでに one-way imaging として 1966 年の Leith と Upatnieks の論文にも散見されるものであるが、実時間で瞬時に補償できる特徴がある。Fig. 3 にわれわれの実験結果を示す。非線形媒質としては、Na 原子系の D₁, D₂ 線の

共鳴効果を用い、色素レーザーパルスで実験した。ポンプ波の一つと物体波 (この場合は円形パターン) を同一の収差ガラス中を伝播させ 4 光波混合を生じさせ、位相共役波と非共役波を同時に再生させている。最近、Yariv らもこの種のフィルターについて報告している⁸⁾。

この方法は、多モードファイバーにおける画像伝送を可能にするもので、モード分散による位相歪を補償でき、受信側の操作のみで画像を再生できる。多モードファイバーの画像修正実験としては、復路修正に基づく原理で画像を一度伝送させ、その共役波を BaTiO₃ で発生させて同一ファイバーを逆行して再度受信側で再生し

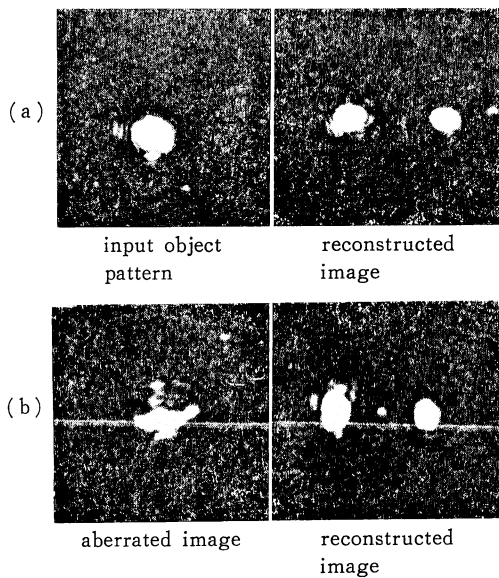


Fig. 3 Fig. 2 の方法による再生像
(a)収差のない場合, (b)は
ガラス板の収差がある場合.
再生像の右側は位相共役波,
左側は非共役波による再生.

た報告がある⁹⁾. コア径 $85 \mu\text{m}$, ステップインデックス型で 1.75 m 長のファイバーで約 40 lines/mm の再生分解能が得られている.

分光学的応用として, $10.6 \mu\text{m}$ の波長を走査共役波の観測により, ドップラーフリーの SF_6 のスペクト

ルが分解能 2 MHz で得られている¹⁰⁾. また, Na 原子の D_1, D_2 線の全角運動量による3次の非線形感受率 $\chi^{(3)}$ の偏波面依存性や, 同じ Na 原子での狭帯域フィルター共役波特性なども調べられている.

このほか, 光情報処理への応用についてもいくつか報告されており, 今後ますます研究分野の拡がりが見込まれるであろう.

文 献

- 1) 丹野直弘: 光学, **9** (1980) 213.
- 2) B. J. Feldman, R. A. Fisher and S. L. Shapiro: Opt. Lett., **6** (1981) 84.
- 3) R. G. Caro and M. C. Gower: Opt. Lett., **6** (1981) 557; IEEE J. Quantum Electron., **QE-18** (1982) 1376.
- 4) M. D. Levenson, K. M. Johnson, V. C. Hanchett and K. Chiong: J. Opt. Soc. Am., **71** (1981) 737.
- 5) H. Vanherzeele, J. L. Vaneck and A. E. Siegman: Opt. Lett., **6** (1981) 467.
- 6) I. Bar-Joseph, A. Hardy, Y. Katir and Y. Silberberg: Opt. Lett., **6** (1981) 414.
- 7) 丹野直弘: 最近の非線形光学 (応用物理学会量子エレクトロニクス夏季研究会, 1981) p. 9.
- 8) B. Fisher, M. Gronin-Golomb, J. O. White and A. Yariv: Appl. Phys. Lett., **41** (1982) 141.
- 9) G. J. Dunning and R. C. Lind: Opt. Lett., **7** (1982) 558.
- 10) P. Aubourg, J. P. Bettini, G. P. Agrawal, P. Cottin, D. Guerin, O. Meunier and J. L. Boulnois: Opt. Lett., **6** (1981) 333.

(山形大工 丹野直弘, 1983年3月22日受理)