

フォトリフラクティブ光導波路による 動的三次元光接続

的 場 修・伊東 一良

フォトリフラクティブ (PR) 効果とは、強度の大きい光を特定の材料に照射すると、屈折率はその強度分布に依存して変化する現象である。PR 効果は、実時間で屈折率変化の光書込み・消去が可能であることから、光情報処理の分野で盛んに用いられている。本稿では、PR 効果を利用して、光制御により状態更新、再構成可能等の機能を実現する光接続方法を紹介します。この代表的な方法としては、すでに体積ホログラムを用いる自由空間光接続がある¹⁾。一方で、ホログラムによる自由空間光接続とは異なる、PR 効果に基づく光導波路型の光接続法が提案され、その実現方法、機能についての研究が行われている^{2,3)}。この方法では、光導波路の作製が結晶の表面に限定されることなく結晶内の三次元領域を利用して光導波路を作製できる。また作製された光導波路は、導波光によって内部構造を変化させることも可能である。光作製可能な光導波路は、アライメントフリーな接続や光 IC でのファイバー・導波路間の接続⁴⁾に期待できる。また信号の伝播特性が時間的に変化するような動的な光接続はニューラルネットワークの学習に応用される可能性がある。

ここでは、PR 光導波路の作製方法、PR 光導波路を用いた動的な光接続について、筆者らの研究を中心に紹介する。

1. PR 光導波路の作製原理

PR 材料中に強度の大きいレーザー光を集光することにより、集光点近傍で屈折率変化が起こる。集光点を走査すると、屈折率が上昇した細長い領域が形成される。この細長い領域は光導波路として機能する。このように PR 効果を利用して光照射により作製された光導波路を PR 光導波路と呼ぶことにする。PR 光導波路を用いる光接続法の特長としては、1) 結晶内の三次元領域を利用した高密度な光導波路の作製、2) 集光点の走査パターン

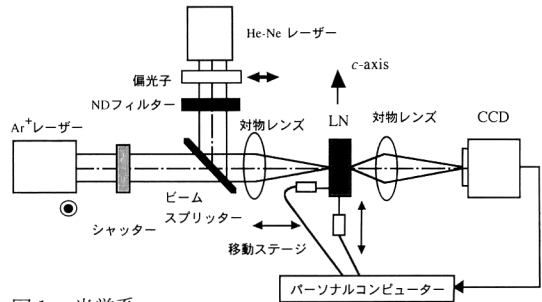


図1 光学系。

と一致した形状をもつば任意形状の光導波路の作製、3) 導波光による自己変調機能の実現等の可能性を挙げることができる。光導波路を形成する屈折率変化分布は、材料のPR特性と照射光強度分布によって決まる。光導波路として機能するためには、屈折率上昇量が元の屈折率の0.1%程度必要である。筆者らは、屈折率変化量が大きく、大きな結晶が使用可能なLiNbO₃(LN)結晶を採用している。LN結晶はc軸方向に特有のPR効果⁵⁾を示し、その屈折率変化はChen⁶⁾によって調べられている。

2. PR 光導波路の作製

実験光学系を図1に示す。ノンドープLN結晶はそのc軸が光軸に対して垂直になるよう配置されている。結晶の光軸方向の厚さは2mmである。作製光源としてAr⁺レーザーを用いる。集光点の走査は結晶を移動させることで行われる。集光点の走査後に残留する屈折率変化分布が光導波路として機能する。良好な屈折率分布を形成するためには、集光点での照射を結晶中で離散的に行う必要があることがわかっている²⁾。これは、デフォーカス光による屈折率分布の書換え(劣化)を起こさないようにするためである。導波テストを行う光源としてHe-Neレーザーを用いる。He-Neレーザー光は、屈折率変化を最も大きく読み出すために結晶中を異常光線として伝播させる。光導波路から射出する導波光をCCDセンサーで観測する。

S字型の曲がり導波路の実験結果を図2に示す。作製

Optical dynamic interconnections using photorefractive waveguides (1996年2月28日受理)

Osamu MATOBA, Kazuyoshi ITOH 大阪大学大学院工学研究科応用物理学専攻 (〒565 吹田市山田丘 2-1)

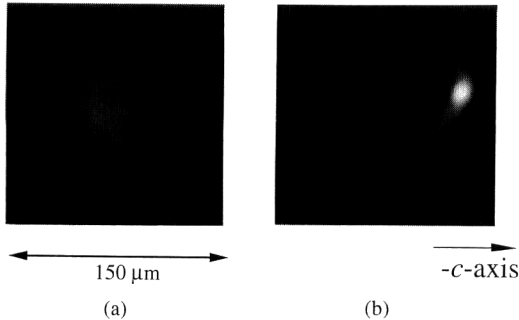


図2 曲がり導波路での導波実験；(a)作製前，(b)作製後。

条件は，作製光パワー 70 mW，集光点の照射間隔 45 μm ，各集光点での露光時間 1/125 秒，作製時間 30 秒である。LN 結晶では，照射ビーム中心の屈折率が減少し， c 軸に沿った両側の屈折率が上昇する。その結果，1 回の走査により 2 本の光導波路が作製される。図 2 の導波実験では， $-c$ 軸側に位置する光導波路を使用している。光導波路が作製されたことにより鋭いピークをもつ強度分布が，中心から約 50 μm 移動した位置に生じていることがわかる。また光導波路部分の屈折率上昇量は， 1.2×10^{-3} (0.05%) 程度であると推定されている。

3. PR 光導波路による動的な光接続

PR 光導波路を用いて導波信号光の出力光強度を動的に制御する試みが行われている³⁾。実験では，強度の大きい制御光を PR 光導波路に導波させ，光導波路の屈折率を変化させる。制御光の光源として Ar⁺レーザーを用いる。このとき，図 1 の Ar⁺レーザーの直後に半波長板を挿入し，制御光を異常光線として導波させる。制御光の露光量は，シャッターの解放時間で制御する。制御光により屈折率変化が生じた PR 光導波路に微弱な He-Ne レーザー（信号）光を伝播させて，入射光パワーに対する出力光パワーの比を測定する。

光軸に平行な直線導波路で動的な光接続実験を行った結果を図 3 に示す。この図は，制御光の全露光量に対する信号光の平均出力光強度の変化を示したものである。制御光の照射により信号光強度が減少しているのがわかる。数値計算により，信号光強度の減少は，制御光の伝播により光導波路の屈折率が減少し，光導波路構造が崩壊するためであることがわかっている³⁾。LN 結晶では，光強度分布にほぼ比例して屈折率が減少するためである

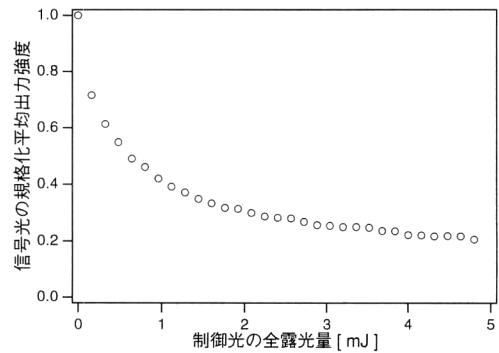


図3 動的実験結果。

と考えられている。信号の増減を行うためには，2 本の PR 光導波路を用い，各々の出力の差を信号として利用するような差動型の接続が必要になる。

PR 光導波路を用いた光接続方法は，レーザー光と PR 材料により光接続経路の形成から接続強度の制御まで行えるという特長をもっている。PR 材料中に高密度に光導波路を作製可能⁷⁾であるため，発光・受光素子二次元アレイと組み合わせることにより集積化された大規模な光接続の実現が期待できる。また，隣接導波路間のモード結合を利用すれば，比率が可変の分岐路等の新しい機能デバイスやその展開が期待できるものと考えられる。

文 献

- 1) D. Psaltis, D. Brady, X.-G. Gu and S. Lin: "Holography in artificial neural networks," *Nature*, **343** (1990) 325-330.
- 2) K. Itoh, O. Matoba and Y. Ichioka: "Fabrication experiment of photorefractive three-dimensional waveguides in lithium niobate," *Opt. Lett.*, **19** (1994) 652-654.
- 3) O. Matoba, K. Ikezawa, K. Itoh and Y. Ichioka: "Modification of photorefractive waveguides in lithium niobate by guided beam for optical dynamic interconnection," *Opt. Rev.*, **2** (1995) 438-443.
- 4) S. J. Frisken: "Light-induced optical waveguide tapers," *Opt. Lett.*, **18** (1993) 1035-1037.
- 5) A. M. Glass: "The photorefractive effect," *Opt. Eng.*, **17** (1978) 470-479.
- 6) F. S. Chen: "Optically induced change of refractive indices in LiNbO₃ and LiTaO₃," *J. Appl. Phys.*, **40** (1969) 3389-3396.
- 7) O. Matoba, K. Itoh and Y. Ichioka: "Array of photorefractive waveguides for massively parallel optical interconnections in lithium niobate," *Opt. Lett.*, **21** (1996) 122-124.