

光並列XOR演算を用いた全光学的暗号化技術に関する基礎研究

舟越 久敏 [苫小牧工業高等専門学校電気電子工学科／准教授]

丹野 格 [苫小牧工業高等専門学校機械工学科／助教]

背景・目的

現在の暗号化技術は電子機器やソフトウェアにより実装されており、変換処理や改竄リスクの問題を抱えている。また、近年研究が進んでいる光学的暗号化技術は、大きな計算負荷を伴う電子的暗号化技術と比較して、光の並列性を利用して大容量の情報を一括処理することが可能である。本研究では、フォトリフラクティブ効果の応用として知られる相互励起型位相共役鏡の光強度しきい値特性と、別光源から発生する同波長の光波の不可干渉性を用いた光並列 XOR ゲート回路を提案し、これを用いた全光学的暗号化技術の確立を目的としている。本研究による暗号化技術は、ハードウェアとソフトウェアが一体化されているため、上述のリスクを極めて小さくすることが可能となる。

内容・方法

図1に、相互励起型位相共役器を用いた光 XOR ゲート回路の概念図を示す。本研究は以下の要領で進める。

1) XOR 演算動作に必要な結合強度の計算

相互励起型位相共役器の生成には、ある値以上の結合強度(結晶の効率を示すパラメータ)が必要であり、結合強度にしきい値が存在することが知られている。図1の光学系を1次元化した解析モデルと4光波混合の結合方程式を用いて、入力光として Input1 または Input2 どちらか一方の光のみを入射した場合と Input1 と Input2 の光をともに入射した場合との結合強度しきい値の変化について解析を行う。

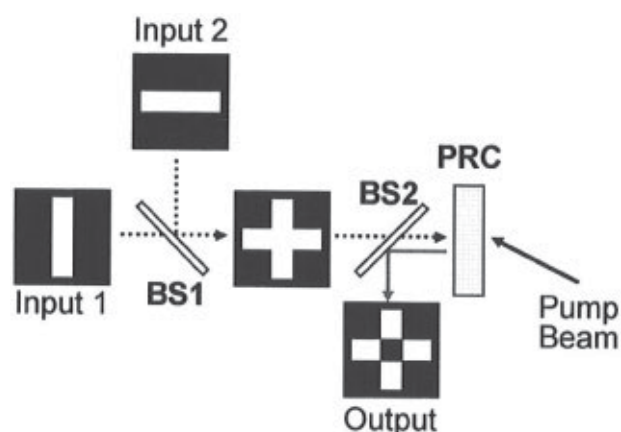


図1 相互励起型位相共役器を用いた光 XOR ゲート回路概念図

BS: ビームスプリッター

PRC: フォトリフラクティブ結晶

2) 有限差分ビーム伝搬法を用いた解析

結合強度の値は、フォトリフラクティブ結晶中で光波が重なる領域の大きさに依存すると考えられる。そこで、入射光波の幅を考慮した各光波の相互作用について、有限差分ビーム伝搬法を用いて解析し、本手法により XOR 演算可能な2次元データの最小画素サイズとフォトリフラクティブ材料の性能との関係について調べる。

3) XOR 演算動作確認実験

計算により求められた各パラメータを考慮して、実験により XOR 演算の基本動作を確認する。

結果・成果

1) XOR 演算動作に必要な結合強度の計算

この計算では、図1における Input1 と Input2 の光強度比を1:1とし、励起光(Pump Beam)の光強度を変化させることにより行った。入力として Input1 または Input2 どちらか一方の光のみを入射した場合、結合強度しきい値は入力光に対する励起光の強度比が1の時に最小となり、その値は2.0であった。一方、Input1 と Input2 の光をともに入射した場合、結合強度しきい値は入力光に対する励起光の強度比が2.8の時に最小値2.7となり、Input1 または Input2 どちらか一方の光のみを入射した場合に比べて結合強度しきい値の最小値が増加することがわかった。このことから、2つの入力画像の光強度比が1:1の場合、結晶の結合強度が2.0~2.7の範囲内となるよう設定すれば、いかなる入力光に対する励起光の強度比で入射しても2つの入力画像の光が重なった領域では出力光が生じない、すなわち XOR 演算が可能であることがわかった。また、結晶の結合強度が2.7より大きい場合においても、結晶に入射する入力光と励起光の比を適切に設定すれば、XOR 演算が可能であることもわかった。

2) 有限差分ビーム伝搬法を用いた解析

この解析では、光源として波長514nmのアルゴンイオンレーザを、フォトリフラクティブ結晶として一辺4mmのBaTiO₃結晶を仮定した。励起光のビーム幅を0.4mmに固定し、入力光のビーム幅を変化させたところ、入力光のビーム幅が0.3mmより小さくなると相互励起型位相共役器が生成されなかった。この結果からは、XOR 演算可能な2次元データの最小画素サイズは0.3mmとなるが、この大きさは励起光のビーム幅やフォトリフラクティブ結晶の効率によっても変化すると考えられるため、この点についてさらに解析を進めている。また、この解析から励起光のビーム幅が大きいと、出力光のビーム品質が向上することが明らかとなり、励起光のビーム幅を入力光のビーム幅より大きくすることによって、XOR 演算によるエラービットを少なくすることができると考えられる。

3) XOR 演算動作確認実験

実験では、十分な結合強度の大きさが確保できる状態で、入力光として Input1 または Input2 どちらか一方の光のみを入射した場合と Input1 と Input2 の光をともに入射した場合における出力光強度の変化を測定した。この実験により Input1、Input2 いずれか一方を入射した場合にのみ出力光が発生するような入力光に対する励起光の強度比が存在することが確認でき、結晶に入射する入力光と励起光の比を適切に設定することによって、XOR 演算を行うことが可能であることがわかった。

今後の展望

2次元データの一括記録再生と体積記録による高速性・大容量性を特徴とするホログラフィックメモリは、Blu-rayDisc に次ぐ第4世代の光メモリとして大きな注目を集めている。これまでに申請者は、書き換え可能型のホログラフィックメモリの実用化に必要な基盤技術である非破壊読み出し技術について基礎的な研究を行っている。申請者らが提案する非破壊読み出し技術の特徴は、書き込み・消去・更新という書き換え可能型光メモリの基本動作を、一切の電子回路を用いず全光学的に行える点にある。今後の展開として、全光学的非破壊読み出し技術に関する研究成果と、本研究の成果を組み合わせることにより、全光制御による安全性の高いリライタブル・ホログラフィックメモリの実現を目指し、研究を進める予定である。