レーザー解説

動作速度が高効率非線形屈折率変化の遅い緩和時間に 制限されない超高速光-光スイッチ

田島 一人*・中村 滋*

(1995年9月11日 受理)

Ultrafast All-Optical Switch with an Operational Speed Unlimited by the Slow Relaxation of a High Efficiency Nonlinear Refractive Index Change

Kazuhito TAJIMA* and Shigeru NAKAMURA*

(Received September 11, 1995)

We experimentally demonstrate that the switching speed of a novel symmetric Mach-Zehnder (SMZ) all-optical switch, proposed by the present authors, is unrestricted by normally slow relaxation times of highly efficient, incoherent nonlinear refractions. A cross-correlation trace with a full-width at half-maximum of 2 ps was achieved, which is corresponding to nearly full-switching at 1.5 ps. To our best knowledge, this is the fastest switching experiment with incoherent and thus realistic nonlinearities. We also demonstrate that a repetition rate much faster than that implied by the relaxation time of the utilized optical nonlinearity is also possible with the SMZ all-optical switch. We will explain an experimental result under excitation by packets of four control pulses with a pulse interval of 100 ps. We point out that the well-known figure of merit for optical nonlinear materials is no longer applicable to the present device and discuss how it is modified to take full advantage of the present device. We also note that a square-like, contrary to the exponential-like, switching characteristic is quite important in practice and show that such square-like modulation is possible with the SMZ all-optical switch.

Key Words: Nonlinear optics, All-optical switch, Ultrafast, Band filling

1. はじめに

光で光を直接制御する超高速半導体光-光スイッチは、将来の超高速時分割多重光通信システムのデマルチプレクサーや超高速光ネットワークのスイッチング素子等への応用が考えられ、これらのシステムのキーデバイスになると期待されている。このようなシステムに適用可能

な光-光スイッチには、いくつもの特性を同時に満足する事が要求される。すなわち超高速性、低パワー動作、満足なスイッチング特性、必要とされる機能等を同時に兼ね備えなければならない。例えば現実的なパワーで動作可能であったとしても、動作速度が電気で制御される従来の光スイッチよりも遅ければ、あえて光-光スイッチを開発するメリットが見いだし難いとい

* 日本電気(株)光エレクトロニクス研究所(〒305 つくば市御幸が丘34番地)

* Opto-Electronics Research Laboratories, NEC Corporation (34 Miyukigaoka, Tsukuba, Ibaraki 305)

うことにもなりかねない。実際、光-光スイッチには動作速度と動作エネルギーの間にトレードオフの関係があり、上記の条件を同時に満足することは困難であった。即ち、光-光スイッチは通常3次の非線形光学効果(非線形屈折率変化や非線形吸収変化)を利用するが、感度が高く低パワー動作の可能な非線形光学効果の緩和時間は通常遅いため動作速度が制限される。また超高速非線形光学効果は通常感度が低いため、大きな制御光パワーが必要とされる。このため超高速性と高感度特性を併せ持つ光学非線形材料や効果を実現すべく種々の研究が精力的に行われているが(この辺の経緯は筆者等の以前の報告¹⁾に詳しいので、そちらを参照されたい)、その見通しは得られていないと思われる。

そこで筆者等は非線形材料の特性だけにとらわれず、材料の不十分な点を他の工夫、特に素子構造や新たな動作原理で補うという、以前とはやや異なる観点からの研究を行い、上記のような超高速光-光スイッチ実現の見通しを得たと考えている。すなわち、前段の議論は光-光スイッチの研究に関する極めて一般的なものであるが、ここでの基本的な仮定は超高速半導体光-光スイッチは超高速であると同時に大きな非線形性を有する材料を要求するというのである。実際、よく議論の対象になる非線形光学材料のフィギュア・オブ・メリット $[n_2/(\alpha\tau), n_2$ は非線形屈折率, α は線形吸収係数, τ は非線形屈折率の緩和定数]は、光-光スイッチのスイッチング速度やエネルギーのような基本特性が、非線形材料そのものの特性により決定されるという前提に基づいている。しかしながら、これが必ずしも正しくないことが示されたわけである²⁻⁵⁾。即ち、筆者等の提案した二つの新たな概念を導入することにより、高効率インコヒーレント非線形過程の遅い緩和時間によって動作速度が制限されない超高速光-光スイッチが可能である。これらは、遅い緩和の影響を避けるためにスイッチオンのみならずスイッチオフをも光励起で行うプッシュプル動作^{2,3,5)}、及び高繰り返し特性を実現するキャリア蓄積モード

に於ける動作^{2,4)}である。

本論文では、上記の非線形過程の遅い緩和時間によって動作速度が制限されない超高速半導体光-光スイッチ、すなわち対称マッハ・ツェンダー光-光スイッチに関する最近の実験結果について詳説するとともに、このような光-光素子に対する非線形材料のフィギュア・オブ・メリットについて考察を加える。

2. 対称マッハ・ツェンダー光-光スイッチの動作原理²⁾

対称マッハ・ツェンダー光-光スイッチの模式図をFig. 1に示す。これは通常のマッハ・ツェンダー光-光スイッチによく似ているが、非線形屈折率変化の発生する非線形導波路と、それに制御光を導入するポートを上下の両アームに備えている点が異なる。故に我々はこれを対称マッハ・ツェンダー (SMZ) 光-光スイッチと呼んでいる。ここでは半導体導波路内にバンド充填効果による非線形屈折率変化を誘起する場合、特に制御光の波長を半導体のバンドギャップエネルギーに相当する波長にすることにより効率よく光キャリアを励起し、また被制御光(信号光)波長をバンドギャップエネルギーより長波長とすることにより、高い信号光透過率と大きな非線形特性を両立させる場合を考える。もちろんSMZ光-光スイッチは、高感度ではあるが緩和時間の遅い非線形光学効果を用いて超高速動作を可能にするものであるため、他の非線形光学効果を利用することも可能である。SMZ光-光スイッチの動作は、まず両アームの非線形導波路を同時に、幅及びエネルギーとも等しい制御光パルスで励起した場合を考えると分かりやすい。この場合、制御光はSMZの対称性を崩さないため、第二の3 dBカップラ

Fig. 1 Schematic illustration of a symmetric Mach-Zehnder all-optical switch.

における信号光の相対位相関係は変化しない。すなわち、両アームの光学長が半波長 ($\approx 0.5 \mu\text{m}$) 程度変化する以外の変化は起こらない。従ってスイッチングも起こらない。これは、一方の(たとえば上部の)非線形導波路中に誘起された非線形屈折率変化の影響を、下部の導波路内の非線形屈折率変化がキャンセルするためである。これをふまえて、上部の非線形導波路をスイッチオンパルスで励起し、その後下部の非線形導波路をスイッチオフパルスで励起した場合を考えよう。スイッチオン制御パルスによる励起により上部の非線形導波路内に非線形屈折率変化が起こり、信号光は一方の出力ポートから他方へとスイッチする。もし、このまま非線形屈折率変化がキャリア再結合とともに消滅するのを待てば、信号出力は、遅い光キャリア再結合に伴い徐々にもとの信号出力ポートに戻る。これは通常のマッハ・ツェンダー光-光スイッチの動作である。ところがSMZ光-光スイッチの場合、非線形屈折率変化の遅い緩和を待たずに、即ちスイッチオンパルス入射後すぐにスイッチオフパルスにより他のアームに非線形屈折率変化を誘起する。すなわちスイッチオンパルスにより励起した残留非線形屈折率変化の影響を、スイッチオフパルスでキャンセルする事により、超高速のスイッチオフが可能となる(プッシュプル動作)。本素子では信号光と制御光が非線形半導体導波路を同方向へ進むため、素子伝搬遅延時間によりスイッチング速度が制限されることはない。スイッチング速度の上限は半導体導波路内の群速度分散、バンド内キャリアダイナミクス、もしくはコヒーレントな非線形性の影響などにより与えられると考えられる。

3. 超高速スイッチング特性の実験による検証

次にSMZ光-光スイッチの実験的検証について述べる^{2,5)}。Fig. 2に実験系を示す。この系はFig. 1の模式図と同等の構成になっている。同図において太線で示される光路は偏光保存単一

Fig. 2 Experimental setup. FC1-5, polarization maintaining fiber-couplers; NLWG1-2, nonlinear semiconductor waveguides; PD, photodetector; PM, phase modulator; NLC, nonlinear crystal for up-conversion; C, chopper; PML, photomultiplier.

モード光ファイバーもしくは3 dBファイバーカプラーで、細線で示す光路は空間伝搬を示す。ファイバーカプラー、FC1とFC4、がマッハツェンダー干渉系を構成し、そのアーム内に挿入されているカプラー、FC2とFC3、により制御光パルスを導入する。偏光ビームスプリッターからFC2及びFC3を介してFC4までの光学長は多少異なり、これがスイッチオン-オフ時間に相当する。またPBSからFC2間までの距離は調整可能で、これによりスイッチオン-オフ間隔を変化させることが可能である。制御光パルスはアルゴンイオンレーザー励起モード同期チタンサファイアレーザーにより発生し、波長は879 nm, パルス幅は約1.3もしくは1.1 ps, そして繰り返し周波数は82 MHzである。制御光パルスは非線形導波路でほぼ完全に吸収され、光キャリアを生成する。信号光は、CWチタンサファイアレーザーにより発生し、波長は900-915 nmである。FC4の一方の出力ポートからの信号光波形はシンクロスキャン・ストリークカメラもしくは後述の相互相関測定計で観測される。ストリークカメラの時間分解能は7~8 psである。また相互相関系の時間分解能は上記パルス幅程度である。本マッハ・ツェンダー系は、FC4の他方の出力ポートからの信号光をモ

ニターするフィードバックループにより能動的に安定化されている。すなわちモニターするポート出力を最大もしくは最小に保つことにより、光-光スイッチとしてのマッハ・ツェンダー系の動作点が固定される。

Fig. 2に示したように、マッハ・ツェンダー系の両アームに非線形導波路、NLWG1及びNLWG2、が挿入されている。同導波路はGaAsコア/AlGaAsクラッドを持つストライプ装架型導波路で、コア厚は約 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 、幅は約 $4\text{ }\mu\text{m}$ 、長さは約 $500\text{ }\mu\text{m}$ である。これらは、まずウエファーを分子線エピタキシー法により成長し、その後 $4\text{ }\mu\text{m}$ 幅のストライプを通常のリソグラフィとウエットエッチングで作成した後に $500\text{ }\mu\text{m}$ 程度にクリーブしたものである。両端面は無反射コーティングされている。波長 900 nm 付近の導波損失は、コーティング前に測定したファブリー・ペロー・フリンジより 5 cm^{-1} と見積もられた。以下の実験では制御光、信号光とも導波路に対してTE-偏光である。

スイッチング波形をFig. 3に示す。同図は、スイッチオンパルスとスイッチオフパルスの間隔が約 54 ps の場合で、SMZの特徴である矩形型スイッチング波形が明確に分かる。すなわち最初オフ状態にあった信号出力が短パルス励起によりオン状態に移行し、また短パルス励起によりオフ状態に戻る様子がわかる。この時の変調度は約 100% (非線形位相シフト $\approx \pi$)で、それに要した制御光パルスエネルギーは、 4 pJ と 7 pJ である。ただし非線形導波路への結合効率、他の実験より約 10% と見積もられた。このスイッチングエネルギーは、半導体レーザー励起ファイバーアンプで対応可能な値である。また変調度は光スイッチ特有の出力の周期性⁶⁾を観察することにより確認した。

さらに、測定に相互相関法を用い、より高い時間分解能でスイッチング特性を調べた⁵⁾。相互相関法とは、Fig. 2に示すように、SMZ光-光スイッチからの信号光出力とモード同期タンサファイアレーザから発生し可変光遅延回路を経由したパルス(励起光パルス)とを LiIO_3 結

Fig. 3 Streak-camera image of the switching waveform at an on-off time interval of 54 ps .

Fig. 4 A cross-correlation trace between the switching waveform and the excitation pulse. Black (white) dots represent experimental data which are initially in the OFF (ON) state. The solid lines represent calculated data. The switching speed (on-off time) is 5.9 ps .

晶に入射し和周波を発生させ、信号光に対する励起光パルスの遅延時間をスキャンすることにより時間軸上で信号光と励起光パルスの重なる位置を変化させた時の和周波の強度変化から信号光波形を測定する方法である⁷⁾。時間分解能は、励起光のパルス幅(本実験では 1.1 ps)で定まる。スイッチング時間を約 6 ps に設定した場合の相関波形をFig. 4に示す。スイッチオン、スイッチオフとも有限の時間かかっていることが観測されるが、矩形状のスイッチングはまだ保たれている。また、これは相互相関波形であるため、実際のスイッチング波形はより矩形状に近いものである。

Fig. 5 The same as Fig. 4. The full-width at half maximum (FWHM) of the cross-correlation trace is 2 ps; but the actual switching waveform calculated from this correlation trace shows nearly full-switching at a FWHM of 1.5 ps.

両アームの非線形導波路への制御光パルスエネルギーを変化させずに、さらにスイッチング時間を短くすると、Fig. 5のような相関波形が得られた。波形の半値幅は約2 psであった。両アームの導波路で生じている非線形位相シフト量は π のはずであるが、スイッチング時間に比べ、SMZ光-光スイッチに入射される制御光および相関計に入射される励起光のパルス幅がもはや無視できないため、観測される変調度は減少している。

現段階でスイッチオン、スイッチオフの速度を定める要因を調べるため、Fig. 5, 6の相関波形に対し、簡単なレート方程式に基づいて計算される波形²⁾のフィッティングを試みた。まず、制御光パルス、励起光パルスともに、パルス幅 $t_p = 1.1$ psにおいて

$$I(t) = I_0 \text{sech}^2(1.76 t/t_p) \quad (1)$$

という関数形で良く表わされることを確認した。非線形導波路におけるキャリア数 N の変化は、簡単なレート方程式

$$\frac{dN}{dt} = G - \frac{N}{\tau} \quad (2)$$

に従うとする。ここで、 G は制御光パルスによ

るキャリア励起レート、 τ はキャリア寿命である。今回用いたGaAs導波路におけるキャリア寿命は、別の実験結果から600 psと見積もられた。さらに、それぞれの非線形導波路においては、キャリア数に比例する非線形位相シフト $\phi_1(t)$ 、 $\phi_2(t)$ が誘起されるとする。これを用いて、SMZ光-光スイッチからの信号光出力は

$$J(t) = J_0 + J_1 \cos(\phi_1(t) - \phi_2(t) + \phi_0) \quad (3)$$

と表される。ただし、 J_1 、 J_2 は信号光強度を定めるパラメータ、 ϕ_0 は初期状態の位相差を定めるパラメータである。したがって、信号光と励起光パルスによって生ずる相互相関波形は、信号光に対する励起光パルスの遅延時間を s として、

$$K(s) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t-s) \cdot J(t) dt \quad (4)$$

と表わされる。

実験結果に対するフィッティング波形を、Fig. 4及び5中に実線で表わした。Fig. 4及び5のそれぞれのフィッティング波形は、スイッチング時間を5.9 psおよび1.5 psとして計算した結果である。いずれも良いフィッティングを示しており、今回の実験の時間スケールでは、スイッチオン、スイッチオフの動作ともパルス幅1.1 psの制御光の吸収に追随していることがわかる。すなわち、パルス拡がりやウォークオフ等の群速度分散の影響、あるいは、屈折率変化の立ち上がりの遅れにつながるキャリアのバンド内緩和の影響はほとんどなく、制御光パルス幅のみで動作速度が制限されている。また、上記の計算で導出された実際のスイッチング波形の変調度は90%以上である。

4. 対称マッハ・ツェンダー光-光スイッチの高繰返し動作について

このように、SMZ光-光スイッチは、光短パルス吸収でスイッチオンし、再び光短パルス吸収でスイッチオフする。すなわち、超高速吸収過程により動作するため、1 ps以下の超高速ス

Fig. 6 Nonlinear refractive index variation of GaAs at room temperature with carrier density. Here a) $\hbar(\omega - E_g^0)/E_R \approx 2$, b) ≈ 6 , and c) ≈ 10 . E_g^0 is the unrenormalized gap and E_R is the exciton Rydberg [8,9].

スイッチングが可能と考えられる。しかしスイッチオフ後には、光キャリアが両非線形導波路内に残っている。このため、光キャリアの緩和時間を上回る高繰り返し動作時には光キャリアが導波路内へ蓄積されるが、以下に示すように緩和時間により制限されない高繰り返し動作が可能である。

Fig. 6に室温GaAsのキャリア密度と非線形屈折率変化の関係を示す。同図は、多体効果を考慮した理論値^{8,9)}をプロットしたものである。長さが500 μm 程度のGaAs導波路の場合、フルスイッチング(π -shift)に必要な非線形屈折率変化は平均で約0.00086である。またFig. 6よりキャリア密度が $10^{18}/\text{cc}$ 付近における非線形屈折率変化のキャリア密度依存性は、波長によらず約 0.003×10^{-17} であることが分かる。したがって π -shiftには、単位体積あたり約 $2.87 \times 10^{16}/\text{cc}$ のキャリア生成が必要である。40 GHzでの動作を考えてみると、この場合の単位体積あたりのキャリア生成レートは、約 $1.15 \times 10^{27}/(\text{cc} \cdot \text{sec})$ である。緩和時間を実験より600 ps (これは導波路横方向への拡散の影響等で通常より速いと考えられる) とすると、平均キャリア密

度は $6.9 \times 10^{17}/\text{cc}$ となり、Fig. 6より十分な屈折率変化が起こることがわかる。

以上の考え方、即ちキャリア蓄積モードに於ける動作を検証するために、100 ps間隔の4連パルス列による実験を行った⁴⁾。パルス列は、82 MHzのモード同期パルスを光遅延回路により分波・合波を繰り返して生成した。Fig. 7に実験結果を示す。制御光パルスエネルギーは以前と同じ5 pJ及び7 pJで、信号光及び制御光の波長も以前と同じである。ストリークカメラの時間分解限界の半値幅10 ps以下のフルスイッチングが100 ps間隔で観測された。半導体導波路内でのキャリア寿命は約600 ps (実験値) であるため、2回目以降のスイッチングは光キャリアが蓄積された状態で起きている。本結果は、SMZの繰り返し速度がバンドフィリング効果の遅い緩和時間に制限されないことを示している。

この様にSMZ光-光スイッチのスイッチング速度及び繰り返し周波数は、非線形屈折率変化の緩和時間により制限されない。このため、SMZ光-光スイッチにとり望ましい非線形屈折率変化の緩和速度は従来の光-光スイッチに対するものとは異なる。即ち従来の光-光スイッチがスイッチング速度程度の緩和時間を要求するのに対し、SMZ光-光スイッチには矩形型スイッチングに適した緩和時間が望ましい。すなわちスイッチングの間に顕著な緩和が起きてし

Fig. 7 Switching waveforms under excitation by packets of four control pulses with pulse intervals of 100 ps.

まうと矩形スイッチングには望ましくないため、緩和時間はスイッチング時間(オン-オフ間隔)より遥かに遅いことが望まれる。他方、緩和時間の上限は高繰り返し動作時に蓄積されるキャリア密度の上限により与えられる。上記のごとく緩和時間を600 ps、繰り返し速度を40 GHzとすると、非線形導波路内に励起される光キャリア密度は平均で $6.9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となる。この程度のキャリア密度は十分許容範囲内と考えられるが、100 GHz以上を達成するためにはキャリア寿命の短縮化が必要であろう。実際にはキャリア寿命は、キャリア密度上昇に従い速くなる。また種々の有効キャリア寿命の短縮法が提案されており^{6,10,11)}、100 ps以下を達成するのはそれほど困難ではないと考えられる。このため本光-光スイッチは、百GHz以上の繰り返し周波数で、1 ps以下の超高速スイッチングが可能と考えられる。ただし本報告中のバンド充填効果を用いると、40 GHzでも制御光平均パワーが200 mW程度になるため、より高効率化が望まれる。

5. まとめ

対称マッハ・ツェンダー (SMZ) 光-光スイッチのスイッチング速度及び繰り返し動作周波数は、高効率インコヒーレント非線形現象の遅い緩和時間により制限されないことを示した。また同光-光スイッチによれば、ほぼ完全な矩形スイッチングが可能であることを示した。半導体光-光スイッチでの矩形型スイッチング特性の実現に関しては前例がないが^{注)}、応用上非常に重要である。

スイッチング速度に関しては、最短で2 psの相互相関波形を得た。これはスイッチング速度が1.5 psのほぼフルスイッチングに相当する。これはインコヒーレント非線形光学現象を用いる、ゆえに現実的な光-光スイッチング実験で最速である。これはスイッチオンのみならず、スイッチオフも超短制御光パルスの励起による

プッシュプル動作により可能になった。また、このスイッチング速度は制御光パルス幅 (1.1 ps) のみにより制限されており、1 ps以下の超高速スイッチングが可能であると考えられる。本素子では信号光と制御光が非線形半導体導波路を同方向へ進むため、素子伝搬遅延時間によりスイッチング速度が制限されることはない。スイッチング速度の上限は半導体導波路内の群速度分散、バンド内キャリアダイナミクス、そしてコヒーレント効果の影響などにより与えられると考えられる。高繰り返し動作に関しては、100 ps間隔の4連スイッチングにより、キャリア蓄積モードにおける緩和時間に制限されない動作を実証した。また理論的に100 GHz以上の超高繰り返し動作が可能なることを示した。これらの新たな概念により、高効率、従って緩和時間が通常遅い非線形光学効果を用いて超高速光-光スイッチを実現することが可能と考えられる。この様な素子は、レーザーダイオードやファイバアンプの様な実用的な光源で駆動可能になるであろう。これらの概念は本稿で説明したバンド充填に起因する非線形光学効果のみならず、他の非線形光学効果にも適用可能である。

このように対称マッハ・ツェンダー光-光スイッチの速度は、高効率非線形現象の遅い緩和時間により制限されない。この場合、非線形材料のフィギュア・オブ・メリットも多少異なってくる。大きな非線形性が望まれることには変わりがないが、良好な矩形型スイッチング特性のためには、その緩和時間には適当な値があり、これはスイッチング速度より遥かに遅い。そして高繰り返し特性は、上記の適当な緩和時間と非線形屈折率変化の飽和特性が関係している。

謝辞

本研究遂行に当たり、ご指導ご鞭撻ご支援頂く木村支配人、小林所長、並木所長代理に感謝いたします。

注) 光ファイバーを非線形材料とするファイバー光-光スイッチでは、制御光と信号光パルスの群速度差を利用し、制御パルスが信号パルスを追い越すことにより、実質的に広いスイッチングウインドウを実現している。

参 考 文 献

- 1) 田島一人, 中村滋, 杉本喜正, 浜尾昇: レーザー研究 21 (1993) 1184.
- 2) K. Tajima: Jpn. J. Appl. Phys. 32 (1993) L1746.
- 3) S. Nakamura, K. Tajima and Y. Sugimoto: Appl. Phys. Lett. 65 (1994) 283.
- 4) S. Nakamura, K. Tajima and Y. Sugimoto: Appl. Phys. Lett. 66 (1995) 2457.
- 5) S. Nakamura, K. Tajima and Y. Sugimoto: Appl. Phys. Lett. 67 (1995) 2445.
- 6) K. Tajima, S. Nakamura, N. Hamao and Y. Sugimoto: Jpn. J. Appl. Phys. 33 (1994) 144.
- 7) J. Shah: IEEE J. Quantum Electron QE-22 (1987) 1728.
- 8) H. Haug and S. W. Kock: *Quantum Theory of the Optical & Electronic Properties of Semiconductors* (World Scientific, 1990).
- 9) Y. H. Lee, A. Chavez-Pirson, S. W. Koch, H. M. Gibbs, S. H. Park, J. Morhange, A. Jeffery, N. Peyghambarian, L. Banyai, A. C. Gossard and W. Wiegman: Phys. Rev. Lett. 57 (1986) 2446.
- 10) Y. H. Lee, H. M. Gibbs, J. L. Jewell, J. F. Duffy, T. Venkatesan, A. C. Gossard, W. Wiegmann and J. H. English: Appl. Phys. Lett. 49 (1986) 486.
- 11) S. Nakamura, K. Tajima, N. Hamao and Y. Sugimoto: Appl. Phys. Lett. 62 (1993) 925.

— レーザーワード —

全光スイッチ (all-optical switch)

光で光を直接制御する光スイッチ。著者によっては光-光スイッチとも呼ぶ。現状の光スイッチでは、媒質に電界印加や電流注入等の電氣的制御を加え、同媒質に屈折率変化や吸収率変化を誘起し、これにより被制御光の透過率などを変調する。これに対し全光スイッチでは、制御光による光励起で媒質中に屈折率や吸収率変化を誘起し、被制御光の透過率などを変調する。屈折率変化の場合は、光干渉系と組み合わせることにより光路切り換えが可能である。電氣的制御に頼らないため、CRリミットに制限されない高速スイッチ実現の可能性がある。

光励起による媒質の屈折率変化や吸収率変化は、3次の非線形光学効果の一種である。このような非線形光学効果には、実励起もしくは仮想励起に伴うものがある。半導体などを、そのバンドギャップエネルギー以上の光子エネルギーを持つ波長の光で共鳴励起すると、電子-正孔対もしくはプラズマが実励起される。これに伴う上記の非線形光学効果は大きい、その緩和時間、すなわちキャリア寿命はナノ秒程度と遅い。従って、このような実励起過程を利用する全光スイッチは、大きな非線形性を利して低エネルギー動作が可能であるが、その動作速度は通常遅い緩和時間によって制限される。これに対して固体中で仮想励起を実現するためには、通常位相緩和時間がきわめて短いため媒質を非共鳴励起する必要がある。このため上記のような光学非線形性の共鳴増強はあまり期待できず、大きな動作エネルギーが要求されるが、仮想励起であるため高速動作が可能である。

(田島 一人)