

# 低損失、偏波無依存を 低消費電力で実現した光スイッチ

井上 憲人

低消費電力が問われる時代になっている。消費電力が少ないと重要であるが、それだけでは十分でない。光スイッチングに使われるデバイス技術では、低損失、低価格、偏波無依存、将来を見据えるなら高速性も求められる。PLZT光スイッチは、これら全てを満足する域に達しつつある。

エピフォトニクスのPb<sub>1-x</sub>Lax(Zry Ti<sub>1-y</sub>)<sub>1-x</sub>/4O<sub>3</sub>(PLZT)光スイッチは、電圧制御でスイッチングするため、他の高速光スイッチ技術に比べると消費電力がほとんどゼロに近いことで知られている。この意味では、PLZTはグリーンテクノロジの最先端にあると言ってもよい。しかし、1年ほど前のPLZT光スイッチは、損失を下げるのに苦闘していた。

PLZTスイッチは、低消費電力と数ナノ秒(ns)の高速性が特徴ではあったが、低損失化ができていないこと、再現性よく偏波無依存化ができていないことが、光スイッチ市場参入への足枷になっていた。エピフォトニクスの社長、梨本恵一氏は、昨年来1年かけて集中的にプロセス改善に取組み、課題となっていたこの二つの問題点をほぼ解消し、この9月からサンプル出荷をスタートさせるという。

PLZTスイッチの導波路は、固相エピタキシャル成長で作製する。スイッチデバイスは、導波路が電極によりサンドイッチされた構造になる。PLZT光導波路の構造は、反転リッジ型、リッジ型と改良を重ねてきた。リッジ構造では、PLZT導波路層をエッティングし、クラッド層を挟んで電極を乗せる形になる。

この構造の問題点について梨本氏は、「リッジ型は、電極が少しずれるだけで

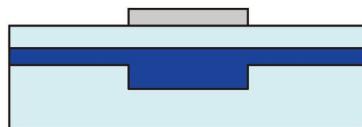
も損失が大きくなったり特性が劣化したりした。理想的には導波路に対して垂直に電圧が加わってほしい。傾斜面にも電極があるために、電圧は垂直方向と斜め方向にも入ってくる。側壁の粗さにより散乱損失も大きくなりやすい。PLZTは偏波無依存が可能だが、不均一電場により偏波依存が生じやすい、再現性は必ずしもよくなかった。また電極は光を吸収するので、光に対して電極を隔離する必要がある。その工夫をこれまで繰り返し試みたが、電極の損失が低減できなかった」と開発の歴史

を語っている(図1)<sup>(1)</sup>。

この問題点は、埋込型にすることで解消される。新開発の埋込型では、「PLZT導波路層をドライエッティング後、PLZTクラッド層で平坦化している。埋め込まれているため、側壁の敏感さは抑制される。表面が平坦になるので、上部電極と下部電極との間で理想的に電圧を加えることができる」(図2)。

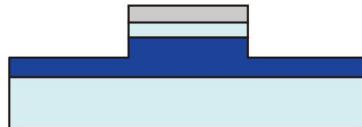
これは結果から眺めた言い方だ。梨本氏によると、「埋込型がよいことは最初から分かっていたが、それがうまくできなかっただけに、反転リッジ型、

反転リッジ型



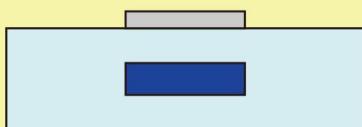
- ・PLZTクラッド層をエッティング後、トレーナーをPLZT導波路層で平坦化
- ・チャンネル導波路の屈折率制御が難
- ・屈折率差を大きくしにくい

リッジ型



- ・PLZTクラッド層をエッティング
- ・電極による損失が大きい
- ・側壁粗による散乱損失が大きくなりやすい
- ・不均一電場により偏波依存が生じやすい

埋込型



- ・PLZTクラッド層をエッティング後、PLZTクラッド層で平坦化
- ・電極による損失を排除可能
- ・電場不均一による偏波依存が生じない

図1 PLZT光導波路構造の進化。理想型は埋込型。PLZT導波路層をドライエッティング後、新プロセスを開発し、PLZTクラッド層で埋め込んだ。これにより、電極による損失を排除し、電場不均一による偏波依存性をなくした。

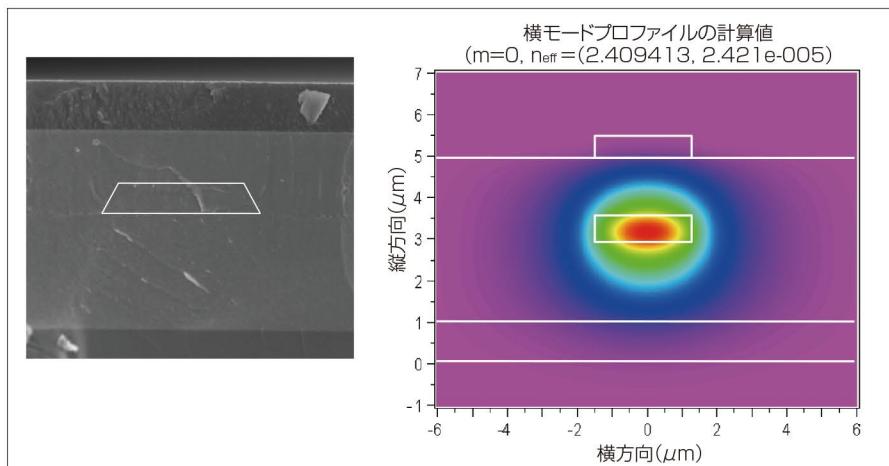


図2 埋込型PLZT光導波路の顕微鏡写真(左)とシミュレーション図(右)。埋め込んだことにより、上部電極による吸収損失がゼロにできた。

リッジ型などとさまよった」という。難しさはどこにあったか。

「ポリマなどは、一度に何 $\mu\text{m}$ も厚くつけることができ、埋込で問題になることはない。PLZTの固相エピタキシャル成長とは、溶液を塗って結晶化させる方法。溶液をスピンドルコートでつけるが、一層の厚さは $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 程度。コアの厚さが $0.5\sim1.0\text{ }\mu\text{m}$ あると考えると、溶液をムラなくつけることが難しい。きれいに埋め込むことができなかった。」

特許成立前ということで、技術の詳細は明らかにされていないが、「新たな構造」を発見し、新しいプロセスでムラなくフラットに埋め込むことができるようになったと言う。これにより特性は劇的に改善された。

### 電極による損失はゼロ

開発の成果としては、損失と偏波依存性の改善が際立っている。埋込構造とすることで平行に電圧を加えることができるようになり、デバイス構造的には偏波依存性をゼロにすることができる<sup>(2)</sup>。

「構造的には、究極の理想形ができた。現在、材料の最適化を行っているが、偏

波依存性はほとんどない。偏波無依存は材料で実現するものだが、これまでにはデバイスの構造がそれを妨げていた。ばらついたり、再現性がよくなかったりした。リッジ構造では、例えば電極がずれたり、横に電極がついたりしているとその影響が出る。現在、TMモードとTEモードの二つの偏波に対して全く同じところにスイッチングできるようになっている。消光比は、一段でも $25\text{dB}$ とれる。消光比は安定的にとれることが重要なので、材料組成の最適化を行っているところだ。」

電極は光に対して隔離されているので電極による損失もゼロにすることができる。これにより、従来構造に対して大幅に損失が下げられた。

従来構造では、電極長 $1\text{cm}$ あたりの損失が約 $5\text{dB}$ 。 $1\times8$ のスイッチでは、 $3\text{mm}$ 程度の電極を3段つけることになるため、電極長は約 $1\text{cm}$ 。損失がここで $5\text{dB}$ であれば、結合損失と合わせると $6\text{dB}$ 程度となる。リッジ型では、サイドウォールでの散乱により、 $1\text{cm}$ あたりの損失が $2\sim3\text{dB}$ 。 $1\times8$ のスイッチでは合計 $2\text{cm}$ とすると、ここでの損失は $6\text{dB}$ 程度となる。これらをすべて足すと、 $1\times8$ のスイッチで $10\sim12\text{dB}$

の損失を見込むことになる。

新しい埋込型では、チャンピオンデータとは言え、損失は $3\sim4\text{dB}$ まで下げることができている。梨本氏によると、 $1\times2$ のスイッチでは損失 $2\text{dB}$ とすることができ、PLCやMEMSスイッチと同等レベルに近づいてきた。

「スイッチング速度は、PLCやMEMSは $10\text{ms}$ 、PLZTはそれよりも100万倍速い。高速スイッチングの優位性を保ちながら、従来の他のデバイスに近い損失まで下げができるようになった。PLZTは、以前は高速性を生かせる分野でしか使えなかった。しかし、今回の改良により、PLZTは他の分野にも展開できる技術になった。」<sup>(3)</sup>

数nsのスイッチングが可能な高速スイッチは、PLZTの他に、SOA、半導体スイッチがある。これらは、高速性では数nsのスイッチング速度が可能で、ほぼ同レベル。利得が得られるSOAはロスレススイッチであるが、偏波依存性、消費電力などを含めて総合的に評価すると、PLZTが競合技術を凌ぐ高速スイッチであるとの評価が固まりつつある。

特に最近問題になる消費電力では、「PLZTは電圧駆動であるので、消費電力は極めて小さい。高速動作させる場合には、充放電があるので消費電力は若干上がるが、数msで切り替える場合には充放電はほとんど無視でき、消費電力はゼロに近い」(図3)。

駆動電圧は現在、数nsスイッチングで多段大規模スイッチを前提として $10\text{V}$ を標準としているが、これも電極長を変えることで $3.3\text{V}$ 駆動も可能。駆動電圧に関して梨本氏は、「設計次第で、TTL直接駆動、ドライバなし、回路なしもありうる。また、電圧を半分にできる新たなスイッチの構造も試作している」としている。

新たな開発によってPLZTスイッチ

は、技術的には多様な市場が狙えるようになっている。

## 多様なアプリケーション展開

PLZTの特徴として、エルビウムを高濃度添加できる点が挙げられる。10dBの利得が約10mのEDFで実現すると考えると、PLZTでは2cmで10dBの利得が得られる(現状はグロスゲイン)。

「シリカと比べると、大量のエルビウムを添加できる点がPLZTのアドバンテージだ。これまで、吸収が強いためにネットゲインにはならなかったが、これを最適化して吸収を抑え、Cバンドでもほぼフラットな組成が見えつつある。次のステップでは、その試作を考えている。」

現在、ファイバ増幅器では名刺のハーフサイズの製品が市販されている。エピフォトニクスでは、個別の導波路増幅器ではなく、スイッチと組合せたロスレススイッチあるいは増幅機能を持つスイッチデバイスなどを構想している。これはアプリケーションの一つ。

OFC2007では、8chのスイッチとAWGを組合せたROADMチップが慶應大学とのぞみフォトニクス(エピフォトニクスの前身)から発表された。波長をアド／ドロップするデバイスだ。長さ約2cmの1チップでPLZT ROADMを実現している。AWGに電極をつけ、10nsでスイッチングできるデバイス。このときの損失は、10dB程度。「新しい開発成果をベースに試作すれば、損失は数dBに落とせる」(図4)<sup>(4)</sup>、<sup>(5)</sup>。

さらに、慶應大学理工学部と日立製作所中央研究所は、PLZT光スイッチエレメントを用いてアクティブ光アクセスシステムの研究を進めている。狙いは、「10Gbps級の速度、秘匿性、延伸化、低コスト化実現」。パッシブ光ネットワーク(PON)のスプリッタを高速光

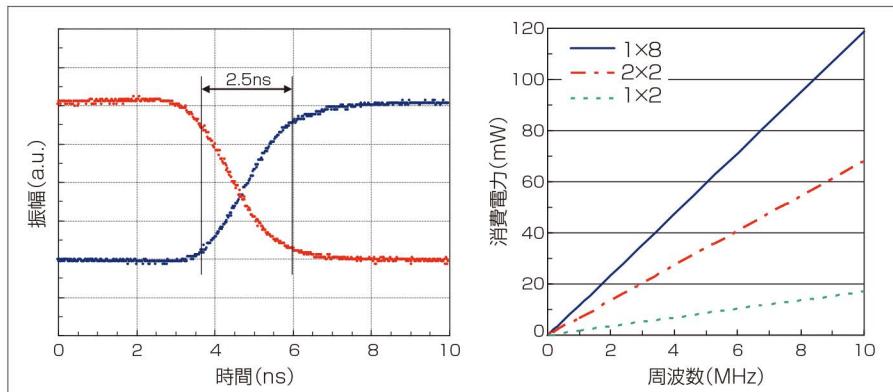


図3 PLZT光スイッチの高速動作(左)と消費電力特性(右)。1×2のスイッチでは、2.5nsの高速スイッチングが実現できている。チップの消費電力は、1×2では、10MHzでも20mW以下。1×8でも120 mW以下となる。

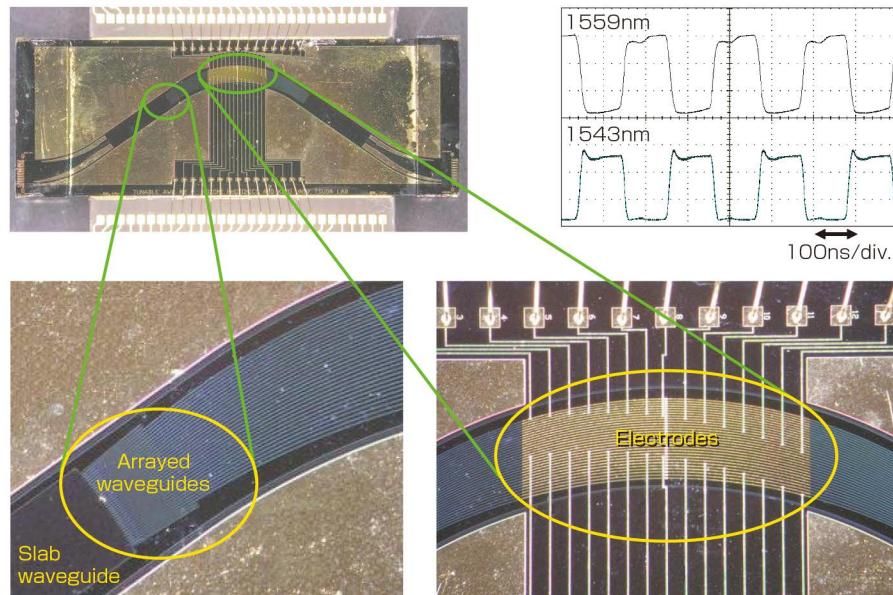


図4 8×1 PLZT波長スイッチ(ROADMチップ)。14V印加で15nsの超高速スイッチング。2007年当時の試作では損失が10dB程度と大きかったが、新開発のチップで試作すれば、数dBに低損失化できる。

スイッチに置き換えることでアクティブ光アクセスを実現しようとしている<sup>(6)</sup>。

今後、ネットワークやHPCの大容量化に伴い、高速大容量光スイッチに出番が来ると期待されている。PLZT光ス

イッチのターゲット市場について梨本氏は、「まずは高速性を必要とする研究開発市場。既存市場でも、ニッチ市場で若干速いスイッチングが必要なところ」を対象に考えているようだ。

## 参考文献

- (1) 梨本恵一、CS-9-9 2009年電子情報通信学会総合大会
- (2) 古川英昭 他、B-12-16 2009年電子情報通信学会総合大会
- (3) Hideaki Furukawa et al., Tu3.D.7, ECOC2008
- (4) Hiroyuki Tsuda et al., PDP47 OFC/NFOEC2008
- (5) Jiro ITO et al., IEICE TRANS. ELECTRON., VOL. E92-C, No.5 May 2009
- (6) 若山浩二 他、B-8-31 2009年電子情報通信学会総合大会