

訪問日 2016 年 5 月 11 日

東京工業大学 量子ナノエレクトロニクス研究センター 庄司 雄哉 准教授

研究題名：磁性薄膜を用いた通信ネットワーク用光メモリの創製

先生の研究分野は光ファイバー通信、それに使う光デバイスで、光信号処理、光バッファ／光メモリの研究状況をお聞きしました。当日は我々が理解しやすいようにプロジェクトを用い、研究の背景となるネットワーク機器の消費電力とそのボトルネックとなっている電子ルータの処理負荷、光信号処理の現状と次世代方式、通信用光バッファ／光メモリの研究開発状況、先生が実現しようとしている光磁気変換型光メモリの順でご説明いただきました。

先生の研究は、電子ルータに代わり IP 処理自体を光信号に対して行い、光スイッチング、光信号を一旦電気に変換することなく光信号のまま処理し、更には波長多重を生かした光信号処理技術です。それは、光パケットの内、ヘッダのみラベル処理などの電子回路処理をして、データの主な部分であるペイロードは光スイッチ、光バッファを用いて、光信号のまま経路選択などを行い、光電変換の無駄をなくし、消費電力を大幅に削減させるものです。先生の研究はこの光バッファメモリの研究です。光バッファメモリは、光信号処理を行う際に、同期や衝突回避を行うための時間的なタイミングをずらすデバイスです。4つの方式が研究されています。実用化に近いのはファイバー遅延線タイプであり、ファイバーの長さの異なるものを用意して、どれを通すかによって、光の信号の伝達時間を変え衝突回避などを行うものです。この問題は保持時間が離散的なこと、サイズが大きくなることで、この欠点を克服するため以下の3つの光バッファメモリの研究が行われています。その1つがスローライトで、光の信号自体の速さをスローライトと呼ばれる特殊な効果を使って遅くし、光信号の時間差を操作するデバイスです。これはその特殊性から保持時間を余り長くとれないという欠点があります。2つ目の光双安定タイプは、非線形光学材料を用いて光信号をメモリするデバイスであり、これも保持時間に限界があり、信号と雑音の比である消光比が余り大きくとれないという欠点があります。3つ目の2モード発振レーザは、2つのレーザの発振モードを利用して光のデータを保持、記録する素子ですが、サイズ、消費電力の大きさが問題です。こうした中で、先生の新たな提案は、光情報を一旦磁気情報に変換することで、光信号データを記憶し、必要な時に記憶した磁気情報をまた光情報に変換して読み出すデバイスです。これらは、1ビットずつに分割して光を記憶する素子で、バッファとは単に光の到達時間を操作するものでメモリと区別しています。メモリタイプでは、データ量として1パケット分 1.5KB（バイト）程度を保持する必要があり、時間にするとマイクロ秒位になり、スローライトでは保持時間としては足りませんが、光バッファとしてなら使えます。先生の提案は光磁気変換型光メモリで、着想のヒントは10年程前に普及したMOディスクのようです。MOディスクは磁気ディスク上にそれぞれのビット領域の磁化方向を書き換えることで情報を記録します。記録のメカニズムはレーザー加熱による保磁力の低下と、同期した磁場印加で磁化反転を行います。一方、再生は磁気カー効果と呼ばれる現象を利用して、これも同様に上からレーザー光を当てるのですが、その時の磁気カー効果による偏光回転を検出することで情報の読み出しを行います。この原理を光導波路型、所謂光通信用のバッファメモリとして利用することができないかと考えたそうです。ただ、光の読み出しでは、磁気カー効果による偏光回転は非常に小さいので、それを光通信用の大きな消光比の信号として取り出すために、リング共振器と呼ばれる光回路を利用することを考えました。磁化方向によってリング共振器の非共振／共振状態を制御することができ、参照光は共振状態の時のみ、読み出し光としてデータが出力され、磁気情報を光情報に変換できます。また、このデバイスの挑戦的なポイントは、シリコン光導波路を用いることで、シリコンの強い光閉じ込め効果により、非常に小さな光回路が形

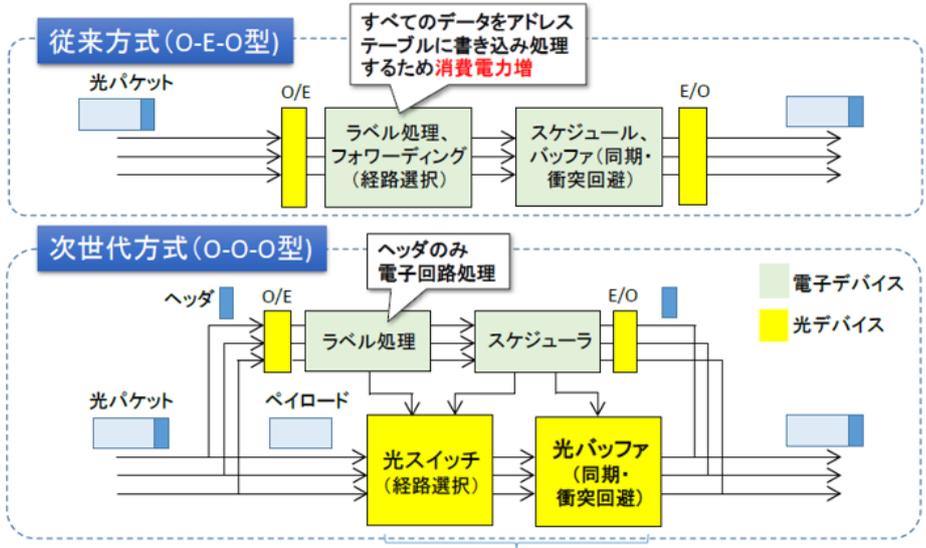
成で高密度な集積が可能になります。試算すると 1bit に相当するデバイスの面積は $20\mu\text{m}^2$ になり、1 パケット 1.5KB 分を並べたとしても 2mm^2 に収まるサイズになり、非常に小型の光メモリが実現できるとのことです。また光吸収が大きい磁性金属に代わり、コバルトフェライトという新たな磁気光学材料を用いることで、光吸収を低く抑えたまま大きな磁気光学効果が得られると考えて研究を進めています。磁化反転には、書き込み光のみで効率的な発熱を起こせるような導波路構造の研究が必要です。先生は今まで導波路型の光アイソレータの研究をしてきました。そこで磁気光学材料を用い、非常に高いアイソレーション比（消光比に相当）、30dB のデバイスの実現に世界で初めて成功しています。中心波長 1550nm に対しての 8nm の広帯域動作、周波数に直すと 1THz 分位の変調帯域をカバーし、温度の無依存動作を達成しています。ただ、実用化には順方向の損失を減らす必要があるようです。これも磁気光学効果も利用していますが、磁化の方向は常に固定した状態で、見方を変えれば磁化方向を切り換えることができれば、光スイッチ、光のメモリに応用できると思います。この光メモリの提案につながったそうです。まだ消光比が小さいなどの課題があるようですが、コバルトフェライトを使った超小型の光アイソレータの試作にも成功しています。

磁性材料を光通信に応用する研究は少なく、磁性材料を扱える研究者が少なく、磁性材料を光と組み合わせるのがそれだけ難しいようです。粒界のない綺麗な結晶を光導波路に載せないとも有効な磁気光学効果が発現しなく、光回路にそれを如何に直接堆積するか、如何にその効果を実証するかが重要のようです。光回路のノウハウと材料技術が必要になります。スピントロニクス of 最近の発展を横目に見ながら、新たな磁気光学材料の模索、堆積法など、先生の挑戦が続きます。

(2016年5月11日訪問、技術参与・飯塚)

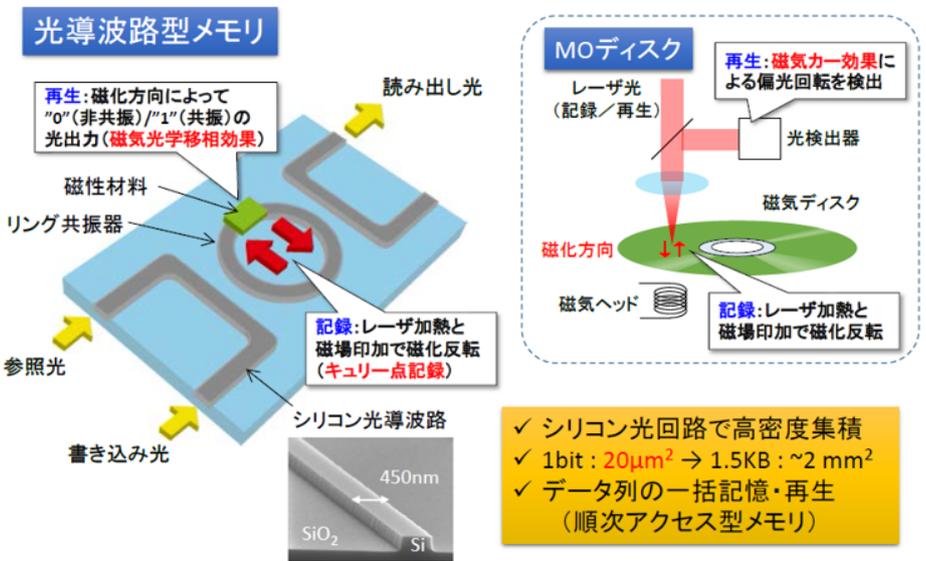


左から2人目が庄司先生



高性能な光デバイス技術の進展が不可欠
 → 光バッファ・光メモリ技術は特に開発が遅れている

光信号処理



光磁気変換型光メモリ