

## 最近の技術から

# 光エコーメモリ

矢野 隆治・光永 正治

NTT 基礎研究所 T180 武藏野市緑町 3-9-11

## 1. まえがき

光エコー<sup>1)</sup>は、スピニエコーの光アナログとして 1964 年に Kurnit らによって見いだされた、古い歴史を持つ現象であるが、この現象の時間領域メモリへの応用は比較的新しい。このメモリは、コヒーレント過渡現象を通して、時間情報を周波数情報に変換して、材料に記憶させる手法をとる。これにより、従来光記憶の最小単位として考えられていた単一光スポット内で、大記憶容量かつ高速の時間領域光メモリが可能となる。ここでは、光エコーメモリの原理について簡単に触れた後、希土類イオン結晶について行われた実験を紹介する。

## 2. 原理

ここでは誘導光エコー<sup>2,3)</sup>の説明をし、それを光エコーメモリ<sup>2,4)</sup>の概念へ拡張する。この現象では、媒質が不均一に広がった吸収線を持つ、すなわち個々の原子（イオン）の持つ吸収線の幅（均一幅： $\Gamma_h$ ）は十分に狭いが、原子の遷移周波数が異なるため、より広い吸収線の幅（不均一幅： $\Gamma_{inh}$ ）を持つことが重要である。

さて図 1 のように、この媒質に共鳴するパルス間隔  $\tau$  の光パルス対（第 1 および第 2 パルス）を照射する。このパルス対のパワースペクトルは周期  $\tau^{-1}$  の強度分布を持つため、媒質が励起された結果、図 1 下に示すような周期  $\tau^{-1}$  の周期的ホールが吸収スペクトルに現れる。この周期が、光エコーメモリにおいて記憶されるべき 1 ピットに相当する。しかし  $\tau^{-1}$  が  $\Gamma_h$  よりも小さくなれば、原子は光パルス対の持つ周期的な強度分布をもはや感じることができないため、周期的ホールは現れない。

周期的ホールが現れるパルス間隔の最大値は位相緩和時間  $T_2$  で与えられ、 $T_2$  と  $\Gamma_h$  は互いに反比例の関係にある。

メモリ記憶時間は、ホールの寿命  $T_{hole}$  で与えられる。 $T_{hole}$  は通常励起状態の寿命  $T_1$  に等しいが、エネルギー緩和過程に寿命の長い第 3 の準位が含まれれば、 $T_{hole}$  はその準位の寿命で決定される。

このような周期的ホールを持つ媒質に、第 3 パルスを照射する。媒質から放出される光電場は、吸収スペクトルのフーリエ変換で与えられるため<sup>2)</sup>、図 1 に示すように、第 3 パルスから時間  $\tau$  だけ遅れて光パルスが放出される。これが誘導光エコーである。

光エコーメモリの概念は、誘導光エコーの概念を拡張することにより理解できる。第 2 パルスの代りに、いくつかの短いパルス（データ構成パルス）から成り立つデータパルスを考える。媒質の吸収スペクトルには、第 1 パルスとデータ構成パルスとのパルス間隔に対応した、いくつかの周期ホールバーニングがなされる。このようにして、データパルスの持つ時間波形が、媒質に記憶される。データの書き込み後、 $T_{hole}$  の時間内に第 3 パルスで媒質を励起する。すると、それぞれの周期的ホールからその周期に対応した時間遅れを伴って、光エコーが放出されるため、データパルスと同じ時間波形が再現され、データが読み出される。

## 3. 実験

光記憶材料として要求される特性には、メモリ容量が大きい（これは  $\Gamma_{inh}/\Gamma_h$  が大きいことに対応する）、 $T_{hole}$  が長い、エコー信号に変調がかからない、等がある<sup>2)</sup>。ここでは希土類イオン結晶  $Eu^{3+} : Y_2SiO_5$  を用いたエコーメモリの実験について紹介する。

まず、この結晶の光学的性質について述べる。この結晶は、 $Eu$  が二つの独立なサイトを占め、線形および非線形の光学的性質がサイトで異なる、 $^7F_0 - ^5D_0$  遷移にお

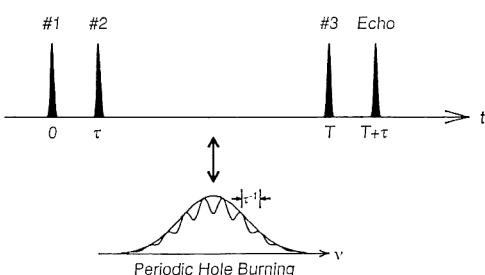


図 1 誘導光エコー現象の説明図

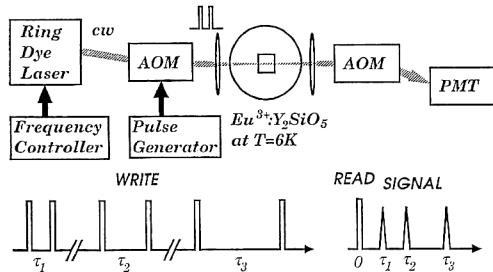


図2 光エコーメモリの実験配置図、およびデータの書き込み(左下)、読み出し時の信号波形(右下)

いてホール寿命が数時間に及ぶ、一方のサイトの同遷移において  $T_2$  が非常に長く約  $800\ \mu s$  である、等の興味深い性質を示す<sup>5)</sup>。特に  $T_2$  は、それまで固体において報告されていた最も長い値の約2倍の値となっている。

この結晶を用いたエコーメモリの実験配置図を図2に示す。連続発振色素レーザーの波長は結晶の  $^7F_0 - ^5D_0$  遷移 (580.049 nm) に合わせる。レーザー光は、音響光学変調器(AOM)により、パルス対として切り出され、低温(6 K)に冷やされた試料を照射する。パルス対のパルス幅、パルス間隔は、AOMにかける電気パルスのタイミングにより、任意に操作できる。ここではビットごと記憶<sup>6)</sup>によりデータを書き込んだ。図2左下に示すようにパルス対の間隔を  $\tau_1$  に固定して試料に照射し1ビットの書き込みを行い、 $T_2$  より長い時間経過後、パルス間隔を新たな間隔  $\tau_2$  に固定し再び書き込む、という操作をビット数だけ繰り返す。読み出しへは、単一パルスを同じスポットに照射し、発生するエコー信号(図2右下)を光電子増倍管(PMT)で受け、オシロスコープで観測する。エコー信号は読み出しパルスに比べかなり小さく、PMTの飽和を避けるため、AOMによる光シャッターがPMTの前に必要である。

図3には、103個の元素の周期律表を ASCII コード(16ビット)で記憶させた時の、読み出し信号の一部を示す。まず、吸収スペクトルを 40 MHz 幅のアドレスに分割する。レーザーの波長はアドレスに合わせて固定され、一つのアドレスに一つの元素の情報をビット間隔  $3\ \mu s$  で時間領域に書き込む。この方法は、周波数領域

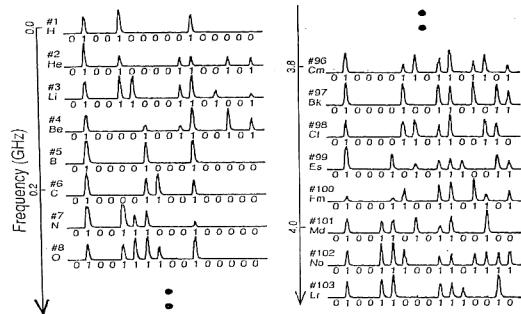


図3 光エコーメモリにおける信号波形

時間領域混成光メモリ<sup>7)</sup>と呼ばれている。これにより、單一のビームスポット(200 μm)で 1.6 キロビットのデータの記憶が実現された。データは、レーザーの波長を任意のアドレスに合わせることにより読み出され、エラー率ゼロですべてのデータの読み出しに成功した。

#### 4. あとがき

光エコーの応用は、メモリに限ってもさまざまな方式や材料が提案されており<sup>2,4)</sup>、新しい方式の探究や材料の探索へと、年々発展している。また、画像処理や演算などの分野<sup>2,4)</sup>にも、数々の応用が試みられている。これらの分野の研究展開により、光エコー応用のさらなる発展が期待される。

#### 文 献

- 1) N. A. Kurnit, I. D. Abella and S. R. Hartmann: Phys. Rev. Lett., **13** (1964) 567.
- 2) 光永正治: 応用物理, **60** (1991) 21.
- 3) 中塚宏樹: 応用物理, **58** (1989) 1453.
- 4) W. E. Moerner: *Persistent Spectral Hole-Burning: Science and Applications* (Springer-Verlag, Berlin, 1988).
- 5) R. Yano, M. Mitsunaga and N. Uesugi: Opt. Lett., **16** (1991) 1884; R. Yano, M. Mitsunaga and N. Uesugi: J. Opt. Soc. Am. B, **9** (1992) 992.
- 6) M. Mitsunaga and N. Uesugi: Opt. Lett., **15** (1990) 195.
- 7) M. Mitsunaga, R. Yano and N. Uesugi: Opt. Lett., **16** (1991) 1890.

(1992年12月25日受付)