

量子ドットを用いた波長多重メモリー

武藤 俊一

結晶成長の際に自己組織化する InGaAs の量子ドット (量子箱ともいう) により量子箱の応用が現実味を帯びてきた。10%程度のサイズのばらつきがあり、レーザー応用に向けて均一化のための努力が盛んに行われている。筆者らは量子箱の新しい応用として、むしろサイズのばらつきを有効利用したメモリーを提案した¹⁾。一言でいうと量子箱を永続的ホールバーニング (PHB) の材料として用いようというものである。これについて紹介する (半導体を用いたホールバーニングとしては、舩本ら²⁾による半導体ドープガラスの報告もある)。

1. ホールバーニングによる波長多重記録

永続的ホールバーニング³⁾は通常ガラスや高分子など不規則性をもつ材料にみられる。このような材料は不規則性からくるブロードな光吸収スペクトルを有するが、これにレーザー光のような単色光を照射すると、この波長の吸収が減少し吸収スペクトルに穴があく。この穴 (PHB ホールとも呼ばれる) は低温では何年も持続することがあるため永続的ホールバーニングと呼ばれる。

重要なのは、この現象を用いてひとつのレーザースポットに何千ものビット、つまり (0,1) 情報を書き込めることである。PHB ホールの有無を (1,0) に対応させて、スペクトル測定によりこれを読み出せばよい。通常的光メモリーは光の波長 ($\sim 1 \mu\text{m}$) 程度のスポットに 1 ビットが限界といわれ、記録密度にして $10^8/\text{cm}^2$ 程度である。ところがホールバーニングを用いて波長空間に情報が何千ビットも記録できると、光メモリーの記録密度も何千倍にも向上する。応用価値の高い現象である。

2. 量子箱ホールバーニング・メモリーの提案

2.1 基本概念

量子箱を用いてホールバーニングを実現する量子箱ホールバーニングの基本概念を図 1 に示す。サイズのばらつきをもった複数の量子箱があるとす。光子が入

射されると、このエネルギーに等しいバンドギャップ (正確には電子-正孔対の生成エネルギー) をもった量子箱に電子-正孔対が形成される。これによりこの量子箱の吸収は (電子、正孔ともにフェルミ粒子であるから) 阻害される。このことは、このエネルギーの光吸収が減少し PHB ホールが形成されることを意味する。残念ながら量子箱の電子-正孔対はナノ秒程度で再結合するため PHB ホールは長続きしない。しかし電子または正孔のどちらかをトンネル効果により量子箱から逃がしてやれば、再結合時間は原理的にはいくらでも長くすることができ、PHB ホールが持続する。InAs 量子ドットを用いた場合の構造案を図 2 に示した。

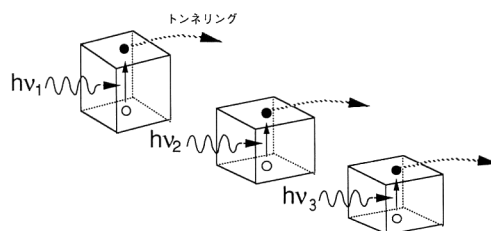


図 1 量子箱ホールバーニング・メモリーの基本概念。

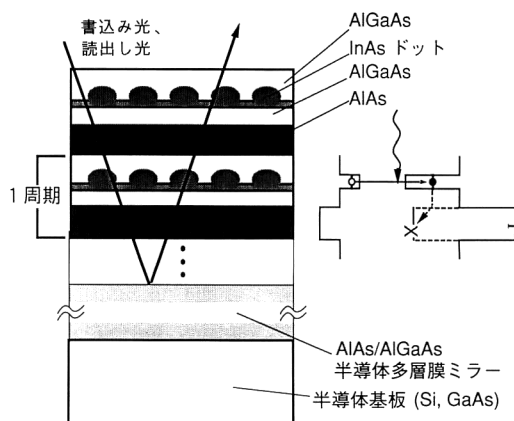


図 2 InAs 量子箱 (ドット) を用いた量子箱ホールバーニング・メモリーの具体例。

Wavelength-domain-multiplication memory using quantum dots (1996 年 4 月 8 日受理)

Shunichi MUTO 北海道大学工学部 (〒060 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

2.2 メモリーの保持時間

通常、永続的ホールバーニングは液体ヘリウム温度などの低温で起こるが、実用性を考えると室温動作が必須であろう。室温では、トンネル効果の熱的な逆過程を考慮しなければならない。つまり、トンネルした電子も、熱的励起で元の量子箱に戻り再結合する確率が有限にある。このためメモリーの持続時間も有限になる。図2で適当なパラメーターを想定すると、この熱的な過程によるメモリーの寿命は、0.2 msと見積もられる。メモリーとしてはリフレッシュが必要である。つまりDRAM的動作が期待される。

最近、富士通のグループは、InGaAs量子箱に電圧印加によりトンネルを起こさせ、再結合を抑制した構造で持続時間0.48 msの光メモリー効果を観測した⁴⁾。ただし提案した機構によるメモリー効果か否かは目下確認中である。

2.3 多重度

量子箱ホールバーニング・メモリーの場合、多重度を決めるのは量子箱の数に限界があることで、つまり1ビットを記録するのにだいたいいくつの量子箱が必要かが問題になる。残念ながら通常の測定では1つの量子箱では十分なS/N(信号/雑音)比がとれない。細かい計算は省略するが、結論を要約すると1ビットに要する量子箱の数はレーザースポットの面積と量子箱の均一幅 Γ_H (つまり量子箱1個の吸収スペクトルのエネルギー幅)に依存する。最も興味深いスポット面積が $1\mu\text{m}$ 平方の場合を考えると、例えば、 $\Gamma_H=1\text{meV}$ のとき15000個、また $\Gamma_H=0.019\text{meV}$ のとき量子箱の数が最少で3200個である。数千個の量子箱を必要とすると特にメリットはないように思われるかもしれないが、量子箱は $1\mu\text{m}$ 立

方に実に100万個程度存在できるため、この中に100ビット程度記録できることになる。

なお、上記の0.019 meVという均一幅は単に最少の量子箱を与えるパラメーターに過ぎないが、この値はそれほど非現実的ではない可能性もある。量子箱では電子の散乱が極端に抑制される可能性があるため、ホールバーニングが提起するアカデミックな問題のひとつである。

すでに述べたようにホールバーニング・メモリーは提案されてから20年になろうとしていまだ実用化から遠い。低温動作がひとつの大きな障害であることは間違いないので、今回の提案では室温動作に執着している。それでも、波長可変のレーザー光源、リフレッシュの方法など実用化までに解決すべき問題は多いが、半導体ヘテロ構造の特長である設計可能性を駆使することにより解決できるのではないかと考えている。もっとも、現状では量子箱の物性を理解することにより、そのポテンシャルを把握することが先決であろう。

文 献

- 1) 武藤俊一：特願平 1-340420(1989); S. Muto: "On a possibility of wavelength-domain-multiplication memory using quantum boxes," Jpn. J. Appl. Phys., **34** (1995) L 210-L 212.
- 2) 舛本泰章：“半導体ナノクリスタルの永続的ホールバーニング”，固体物理，**29** (1994) 691-697.
- 3) ホールバーニングの解説としては、例えば、谷 俊郎：フォトケミカルホールバーニング，有機エレクトロニクス材料シリーズ7 (ぶんしん出版，1992)がある。
- 4) K. Imamura, Y. Sugiyama, Y. Nakata, S. Muto and N. Yokoyama: "New optical memory structure using self-assembled InAs quantum dots," Jpn. J. Appl. Phys., **34** (1995) L 1445-L 1447.