



マイクロエレクトロニクスにおける光配線

伊藤日出男・石原 聰

電子技術総合研究所 〒305 茨城県新治郡桜村梅園 1-1-4

1. はじめに

256 K ビットのメモリの実用化に代表されるように、Si 基板の LSI などマイクロエレクトロニクス技術の進歩は目覚しく、今後もさらに高密度、大規模な集積化が進められる傾向にある。しかし、集積度の向上につれて、論理素子やメモリ素子が搭載されているチップ内外の配線の複雑化、信号の伝播遅延などの難問が表面化し、Si 技術の前途には壁が見えてきている。他方、演算高速化のための GaAs やジョセフソン素子など新素子の開発も行なわれているが、早晚、同様の壁に当たることは避けられない。

そこで高速、無誘導で空間伝播が可能な光の特長を活かし、チップ内外の配線に光を利用することによってこれらの問題解決を図ることが考えられている¹⁻⁵⁾。

ここでは、このようなマイクロエレクトロニクスへの光配線の応用をとりあげ、Goodman らの成果¹⁻³⁾を中心として、集積化に伴う問題点、光配線の特長、光配線の応用例、および今後の展望について簡単に紹介する。

2. マイクロエレクトロニクスの集積化に伴う諸問題

マイクロエレクトロニクスの高速化を図るためににはなんに素子と配線の大きさをどんどん小さくしていくべきよいように思われる。この場合、一般的にいって、素子そのものの応答は縮小率に比例して早くなるが、素子間の信号伝達遅延時間はそのサイズにかかわらず一定であり、しかも配線の長さは減らないことが知られている。逆にいふと、素子全体を小さくして素子応答をいくら早くしても、全体の性能は配線における信号伝達時間で支配されてしまう。したがって、高速化のためには配線こそが重要になってくる。

一方、チップ内の素子数の増加に対して、チップの高効率動作のためには外部に接続するためのピンの数も増加させる必要が生じる。この必要なピン数の増加率に対して、ピンをチップの周囲に配置した場合の配置可能ピ

ン数の増加率のほうが小さいため、集積度が制限を受けてしまう。

3. 光配線の特長

マイクロエレクトロニクス回路に光配線を応用した際の特長について述べてみよう。

1) 光配線を近接させても従来のように信号同士が相互干渉を起こしにくい。電気配線では信号が高速変調されるほどこの干渉は大きな問題となってくるが、空間伝播光ではたとえそのビーム同士を交差させてもお互いに影響し合わない。

2) 負荷の電気容量の大小に対して光の伝播速度が変化しない。電気配線では負荷の電気容量が大きくなるほど信号伝播速度は低下してしまうが、光の伝播速度はその媒質にだけ依存しているためである。

3) 素子構造が平面、あるいは準平面である必要がない。従来の集積回路ではマスクによる多重露光の必要性から、チップの表面はほとんど平坦でなければならない。しかし、光配線ならば、立体的構造が可能である。

4) 電子論理素子に光信号を直接入力することができる。Si チップには、CaAs 系光源に対する受光素子を容易に形成できるためである。

5) 信号の波長多重化が容易である。これによりチップ内外の配線数の減少が期待できる。

したがって、配線に光を用いれば、チップ内部の素子に立体的に直接配線でき、配線数も節約できるため、高効率動作ができるようになる。

6) 能動光配線によるプログラマブルな配線パターンの形成が容易になる⁶⁾。この機能は従来の回路でも実現不能ではないが、配線面積が大きくなり実用的ではない。

このような特長をもっている光配線を、具体的にクロック分配とデータ伝送に対して応用する例を以下に述べよう。

表1 光配線の分類とその例

	屈折率導波路		空間伝播	
	光ファイバ型	平面導波路型	拡散型	焦点型
効率	高	高	低	高
アライメント	難	難	易	難
素子構成	立体的	平面的	立体的	立体的
受光素子面積	小	大	小	小
光配線の例 ¹⁾				

4. クロック分配への適用

論理素子のほとんどはクロックと呼ばれるタイミング信号に同期して動作する。ところが集積度の向上などによる伝播遅延、相互干渉の増加によりクロック波形が歪み、すべての素子に同時にクロックが届かなくなることが発生する。これがクロックスキューである。チップ内外の光配線が最初に実用化されるのはこのクロックスキューの低減に対する応用であろう。光配線の分類とその例を表1に示す。

屈折率導波路では、いずれのタイプでも、光源と受光素子とのアライメントが容易でないという問題点がある。光ファイバ型と異なり、平面導波路型は、立体的なスペースをとらないという長所があるものの、受光素子の大きさが論理素子に比較して大きいという問題点がある。拡散型の空間伝播ではアライメントの困難さはないが、一つの光源で基板全体を照射しているため、低効率で、また、光検出部以外に届く光をマスクする必要がある。

チップ間、あるいはチップを多数搭載しているボード間のクロック分配については、光ファイバ配線、および空間伝播を利用することが考えられる。

5. データ伝送への適用

光配線を演算入出力用のデータの伝送に用いるためには、情報源となる数多くの光源からの光を独立に受光素子へ導かねばならない。このため、クロック分配の場合よりも技術的には困難になる。その解決法の一つとして図1¹⁾のようにデータを伝送するためのGaAs系光源を

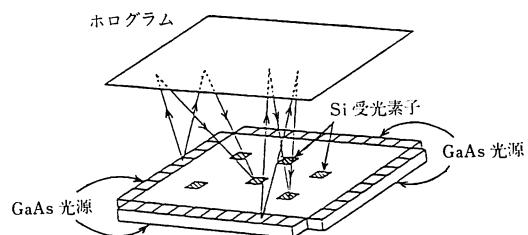


図1 光配線のデータ伝送への適用例(1)
GaAs/Siハイブリッド素子の利用

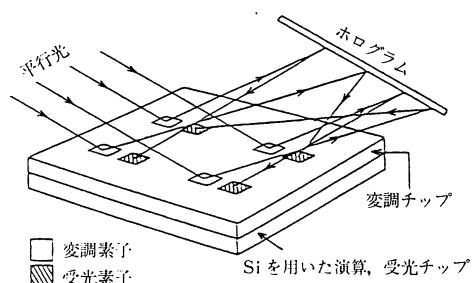


図2 光配線のデータ伝送への適用例(2)
反射型外部変調の利用

Siチップの周辺部に配置し、その上方に反射型のホログラムを置くことが考えられる。この配置ならば、光源は端面発光・面発光のどちらの型でも使用でき、また、ホログラムの交換によって所望の配線に変更することが可能となる。

また、図2¹⁾のように、光の変調に消費電力の低い反射型変調素子を用いてもよい。屈折率導波路による配線網も考えられ、光配線の基板に非線形光学材料を用いれ

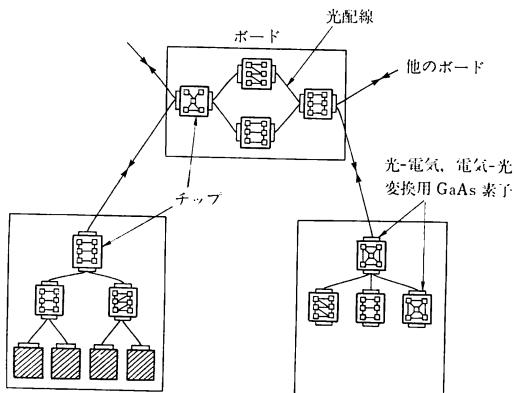


図3 チップ間およびボード間のデータ伝送の例

ば、能動型平面光導波スイッチの形成も可能である。

Si 論理チップ上に GaAs 面発光素子を直接結晶成長させることができれば、電気配線が短縮でき、高速化することができる。Si と GaAs との格子定数の差による成長層への欠陥導入の防止という問題は未だに解決されていないが、各方面で研究が進められており、最近では、液体窒素温度でのパルスレーザー発振が実現している⁷⁾。

チップ間、ボード間のデータ伝送については、図3⁴⁾のような空間伝播、あるいは光ファイバの利用が考えられる。

6. 今後の展望

マイクロエレクトロニクスへの光配線の応用のための課題は少なくないが、Goodman は光配線の今後について次のように展望している¹⁾。

- 1) クロックスキューの低減は重要な問題であり、光を利用してすぐに取り組むべきものである。
- 2) 従来の Si の技術を活かしつつ光配線を利用するには、Si 論理・受光チップと GaAs 発光チップとをハイブリッド化する必要がある。
- 3) 将来、Si チップ上に光源を作り込むには、Si と

GaAs の高品質なヘテロエピタキシャル成長によるモリシック化が必要である。

- 4) GaAs 集積回路は論理素子とともに光素子も集積化できるので、未来のマイクロエレクトロニクス素子として開発が期待される。

- 5) 光配線のパターンを高速で変更することができるダイナミックマスクの開発が必要であろう。

なお、同じ目的のためには、光源自身の出力光の放射方向を自由に制御できるような技術⁸⁾の確立も有用であろう。

7. おわりに

以上、マイクロエレクトロニクスにおける光配線について述べた。この技術は光技術と電子技術の両方の利点を活かしたものであり、マイクロエレクトロニクスの高速化、大容量化に飛躍的な進歩を与えるであろう。今後、6章で述べた諸技術はもとよりそれらの基礎となる光学技術、結晶成長技術、素子製作技術⁵⁾など、多方面にわたる技術開発が必要であるものと思われる。

終りに、資料をご提供いただいた Stanford 大学 J. W. Goodman 教授、ならびに日頃ご指導いただく当所島田潤一部長および矢嶋弘義主任研究官に感謝申し上げる。

文 献

- 1) J. W. Goodman, F. I. Leonberger, S.-Y. Kung and R. A. Athale : Proc. IEEE, 72 (1984) 850.
- 2) J. W. Goodman : ICO-13 Conference Digest (1984) p. 2.
- 3) J. W. Goodman : Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. 456 (1984).
- 4) A. Husain : Photonics Spectra, 18 (8) (1984) 57.
- 5) 矢嶋弘義、島田潤一：電子通信学会誌, 67 (1984) 857.
- 6) S. Ishihara and H. Yajima : ICO-13 Conference Digest (1984) p. 158.
- 7) T. H. Windhorn, G. M. Metze, B.-Y. Tsaur and J. C. C. Fan : Appl. Phys. Lett., 45 (1984) 309.
- 8) たとえば、S. Mukai, H. Yajima, S. Uekusa and A. Sone : Appl. Phys. Lett., 43 (1983) 432.

(1984年12月4日受理)