

ショートノート GaAs/Si ヘテロエピタキシャル成長技術による 8 ch モノリシックフォトカプラの試作*

Multi-Channel Monolithic Photo-Coupler with GaAs/Si Hetero Structure

犬塚 肇 中川 剛
Hajime INUZUKA Tsuyoshi NAKAGAWA
竹内 聡 菅原良一
Satoshi TAKEUCHI Ryoichi SUGAWARA

1. 諸 言

フォトカプラは機器の I/O インタフェース部や電源部のアイソレータとして広く利用されている。現在のフォトカプラは GaAs 発光ダイオードと Si フォトトランジスタを別々に作製し、同一パッケージに入れたハイブリッド構造であるが、モノリシック IC 化が実現すれば、既存単体素子の集積化により、機器の大幅な小型軽量化と、部品点数の削減、組み付け工数の低減によるコストダウンが期待できるのみならず、従来の素子では実現困難な双方向伝達や自己診断などの機能付加による高機能化や機器の信頼性向上が期待できる。

フォトカプラのモノリシック IC 化については、過去に数多くのアイデアが出されているが、実際に素子を試作し、信号伝達を確認した例は少ない。R. J. ROEDEL らは、半絶縁性 GaAs 基板上に $Al_xGa_{1-x}As$ の pn 接合を成長し、切り込みを入れて受発光素子間を分離したモノリシックフォトカプラを報告しているが¹⁾、周辺回路の一体化が難しい上、発光ダイオードの迷光による GaAs の光導電効果により、受発光素子間の絶縁分離が不完全になるという問題が発生しやすい。

我々は、高耐圧絶縁分離や周辺回路の形成が容易で、光導電性が無い Si 誘電体分離基板を用いて、GaAs/Si ヘテロエピタキシャル成長によるモノリシックフォトカプラの試作を行った。

図 1 はモノリシックフォトカプラの概念図である。本集積回路は互いに SiO_2 で絶縁分離された 2 つの単結晶 Si の一方に GaAs 発光ダイオード、他方に Si フォトトランジスタをそれぞれ形成し、両者を薄膜光導波路で結合することで光による信号伝達を行うもの

である。最終的には各単結晶 Si 上に信号処理回路などを設け、光結合部と周辺回路を一体化することを目指している。

2. モノリシックフォトカプラの作成

図 2 は、試作品のチップ写真である。5.5×2.5 mm のチップ上に、マイコンなどのデータバスへの対応を考慮して、8 個のフォトカプラを形成した。

[011] 方向に 4 度のオフセットを有する n-Si (100) 張り合わせ SOI 基板に横方向分離用トレンチを形成し、側壁を酸化した後、すき間を多結晶 Si 上で充てんすることで、発光素子形成領域と受光素子形成領域を絶縁分離した。この誘電体分離された Si 単結晶領域にバイポーラ工程により、フォトダークトランジスタおよび GaAs 発光ダイオードの n-GaAs 側オーミックコンタクト用 n^+ -Si 拡散層を形成した。バイポーラ工程の完了した Si 誘電体分離基板上に MOCVD 2 段階成長法²⁾により GaAs および $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ をヘテロエピタキシャル成長させた後、メサエッチングおよび電極形成を行い、ダブルヘテロ構造発光ダイオードを作製した。GaAs 発光ダイオードお

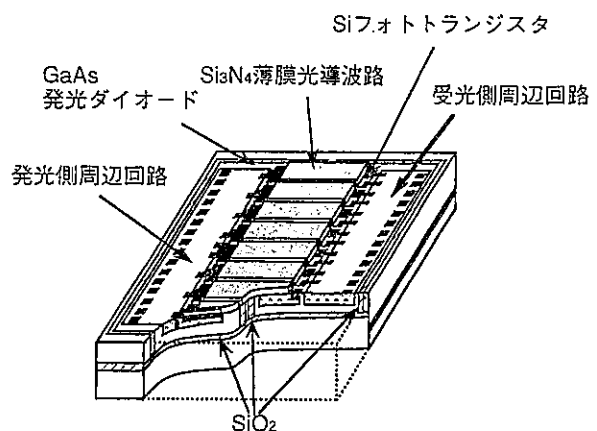


図 1 モノリシックフォトカプラ概念図

* 1996 年 7 月 10 日 原稿受付

よびSiフォトダーリントトランジスタそれぞれにAl配線を行った後、プラズマCVDによってSi₃N₄を堆積し、発光ダイオードとフォトトランジスタを光学的に結合する光導波路を形成した。

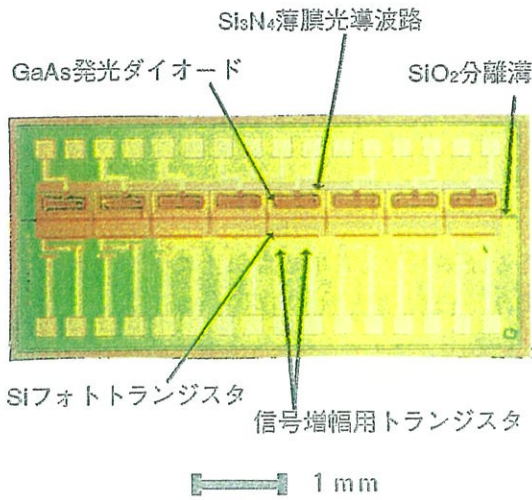


図2 モノリシックフォトコプラ拡大写真

3. 素子の特性

3・1 発光ダイオード

発光ダイオードの光出力をオプティカルパワーメーター (ADVANTEST 社製 TQ 8210) で測定した。発光ダイオードとパワーメーターのフォトダイオードを対向させ、フォトダイオードの光電流を発光ダイオードのピーク波長 (950 nm) でエネルギーに換算することで光出力を求めた。図3は発光ダイオードの駆動電流と光出力の関係である。駆動電流 50 mA において光出力は 63 μW であった。

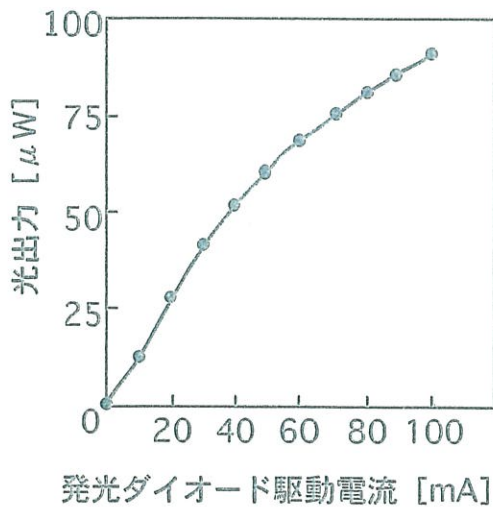


図3 発光ダイオードの駆動電流と光出力の関係

3・2 フォトトランジスタ

図4はフォトトランジスタの拡大写真、図5はフォトトランジスタの断面構造模式図である。受光感度を上げるため、フォトトランジスタの後段に信号増幅用トランジスタを2個接続したダーリントン構造とした。図6はフォトトランジスタの分光感度特性である。発光ダイオードのピーク波長に対する受光感度は2 mA/nW であった。

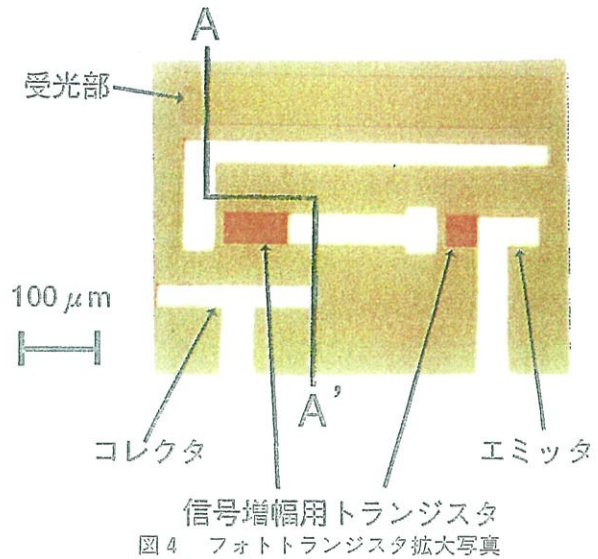


図4 フォトトランジスタ拡大写真

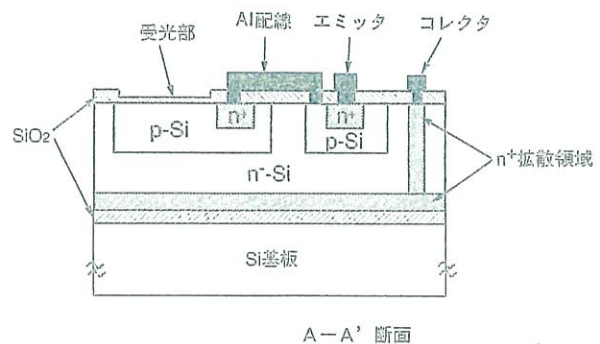


図5 フォトトランジスタの断面構造模式図

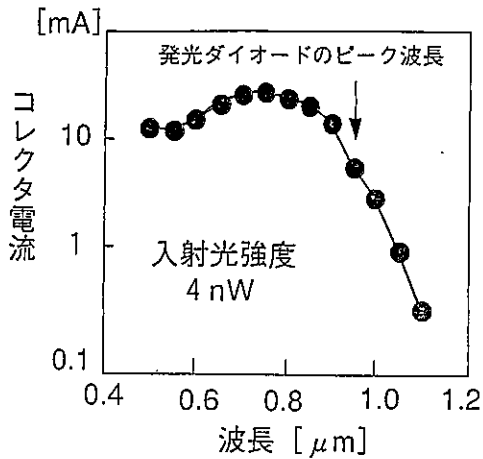


図6 フォトトランジスタの分光感度特性

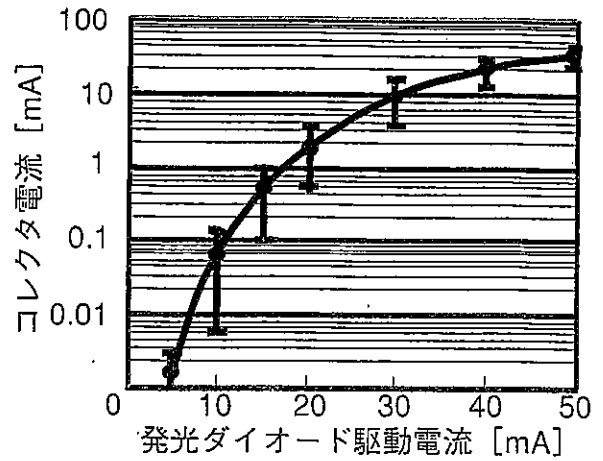


図8 電流伝達特性

4. 電流伝達特性

図7は、発光ダイオードに通電した場合のフォトカプラの赤外線写真である。赤外光がAl配線の部分で反射されていることから、光導波路に沿って光がフォトトランジスタ側に伝達されていることが分かる。

図8は試作品の電流伝達特性である。電流伝達比は発光ダイオードの駆動電流10 mAで0.6%、50 mAで66%であった。また、隣り合うチャンネル間のクロストークは-160 dB以下であった。

図9はフォトカプラの入出力波形である。立ち上がり時間は30 μs、立ち下がり時間は260 μsであった。

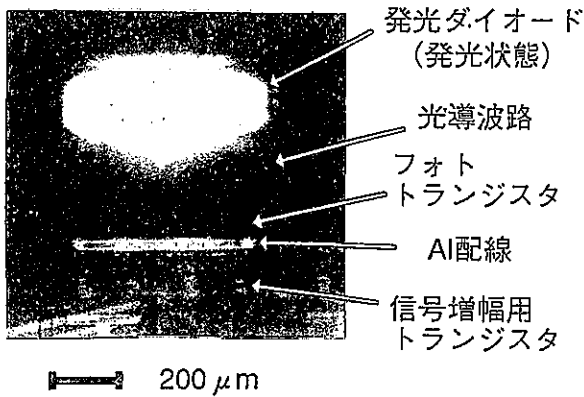


図7 発光ダイオード通電時の赤外線写真

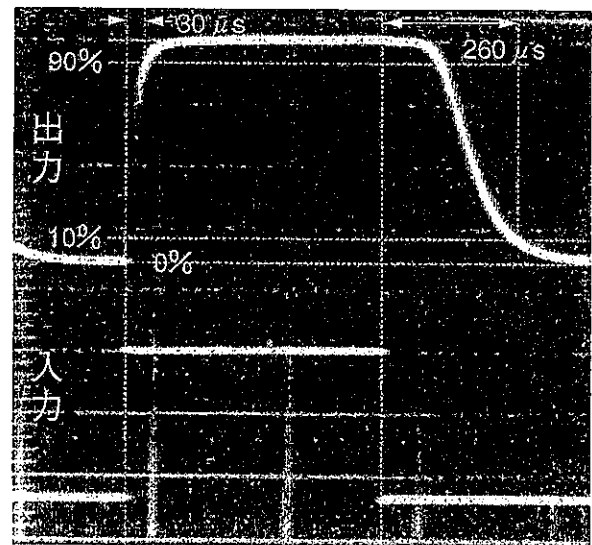


図9 フォトカプラの入出力波形

5. まとめ

発光ダイオード形成領域とフォトトランジスタ形成領域がSiO₂で誘電体分離されたSi基板上へGaAs/Siヘテロエピタキシャル成長技術により発光ダイオードを形成し、8chモノリシックフォトカプラを試作した。試作品は駆動電流50 mAにおける電流伝達比が66%、隣接するチャンネル間のクロストークは-160 dB以下であった。また、応答性は立ち上がり時間が30 μs、立ち下がり時間が260 μsであった。

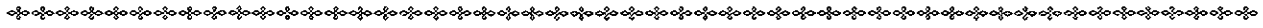
今回の実験で誘電体分離されたSi基板上での光による信号伝達が可能なことを実証できた。今後は、低電流領域での電流伝達比向上に努める。

〈参 考 文 献〉

1) R. J. ROEDEL, B. V. DUTT, M. EL HAMAM-
SY, V. G. KERAMIDAS, R. H. SAUL and D. R.

CASSIDY : IEEE ELECTRON DEVICE LET-
TERS, Vol. EDL-1, No. 2 (1980), p. 15

2) M. Akiyama, Y. Kawahara and K. Kaminishi :
Jpn. J. Appl. Phys., 23, L843 (1984)



〈筆 者〉



犬塚 肇 (いぬづか はじめ)

開発1部
化合物半導体の結晶成長およびデ
バイスの開発に従事。



竹内 聡 (たけうち さとし)

開発1部
化合物半導体の結晶成長技術の開
発に従事。



中川 剛 (なかがわ つよし)

開発1部
誘電体分離基板の開発に従事。



菅原良一 (すがわりょういち)

開発1部
光システム関連技術開発に従事。