



異種材料接合により実現する光集積デバイス

九州大学 大学院工学研究院
澤田廉士
産業技術総合研究所／東京大学
日暮栄治

1. はじめに

半導体・電子デバイスは、微細化の極限の追究により、高速化、省電力化、低コスト化を同時に進めることができ、これまでコンピュータをはじめさまざまな分野の発展に寄与してきた。一方、Si CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) トランジスタ動作原理の微細化限界が近づき、これまでのスケーリング則 (Moore の法則) にのっとりた微細化の追求 (More Moore) に加えて、従来の CMOS デバイスが持ち得なかった、アナログ/RF, 受動素子, 高圧パワーデバイス, センサ/アクチュエータ, バイオチップなどの新機能を付加し、デバイスの多機能化, 異機能融合の方向に進化する新たな進化軸 (More than Moore) にシフトしつつある。将来の半導体デバイスは、「More Moore」と「More than Moore」を車の両輪のように組み合わせて実現する高付加価値システムへと向かっている。機能の多様化が付加価値となることをめざす「More than Moore」の重要な要素技術一つとして、異種材料集積を実現する低温接合技術が挙げられる。本稿では、接合技術で実現した光集積デバイスに焦点をあて解説する。

2. 光デバイス製造に用いられる接合技術

以下では、光集積デバイスの製造に用いられる代表的な接合技術について述べる^{1,2)}。これらの接合技術はそれぞれ一長一短があるが、デバイスの熱損傷や実装時の熱応力を低減するという観点から共通して進められてきた技術課題の一つが接合温度の低温化である。

陽極接合技術は、シリコンと熱膨張係数の近いホウケイ酸ガラスとシリコンを接合する技術であり、400°C程度の温度でガラス側に数百 V の負電圧を印加して、静電引力により接合する。一般的にアルカリイオンの移動度が高くなる 300°C以上で接合が行なわれ、MEMS のパッケージング技術として広く利用されている。

フュージョンボンディングは、1986年に Lasky が酸化膜を形成した Si 基板どうし、Shimbo らが Si 基板どうしの直接接合技術として検討し、主として SOI (Silicon on Insulator) ウェハの作製を目的に開発が進められてきた。この接合は以下のように行われる。始めにウェハの洗浄、親水化処理を行い、ウェハ表面に水酸基 (OH 基) を形成し、常温での貼り合わせの後に高温 (~1200°C程度) で熱処理を行う。化合物半導体基板へのフュージョンボンディング技術の適用に関しては、1990年に InP 基板と GaAs 基板の直接接合 (650°C) が報告され、その以降、GaAs 基板上へ直接接合した 1.55μm 帯 InP/InGaAs 系レーザ、Si 基板上のレーザ素子、発光波長に対して透明な基板に置き換えた AlGaInP/GaP LED (Light Emitting Diode)、GaAs 基板上の AlAs/GaAs ミラーを利用した長波長面発光レーザ、Si をなだれ増倍層として用いた InGaAs/Si アバランシェ・フォトダイオードなど、多くの研究者によって様々な新規デバイスが提案された。しかしながら、従来主に用いられてきたフュージョンボンディングは、強固な接合を実現するには高温 (> 600°C) を必要とするため、接合強度とデバイス特性はトレードオフの関係となり、デバイス特性の劣化、熱膨張係数の違いからウェハのそ