

審査の結果の要旨

氏名 李凌瀚

本論文は、"Study on Silicon/InGaAsP Integrated Photonic Devices by Ar/O₂ Plasma Assisted Direct Bonding (Ar/O₂ プラズマ直接接合法によるシリコン・InGaAsP 集積フォトニクスデバイスに関する研究)"と題し、アルゴンと酸素ガスの混合プラズマ処理によるシリコン基板と III-V 族化合物半導体の直接接合と、それを応用したシリコン基板上の各種光デバイス試作に関し行った研究の成果を英文で纏めたもので、6 章より構成されている。

第 1 章は序論であって、研究の背景、動機、目的と、論文の構成が述べられている。シリコンフォトニクスは、次世代光通信ネットワークや光インターコネクションなどの構成部品として期待されているが、光源など能動素子の集積化には多くの困難があった。この問題に対し、本論文では III-V 族化合物半導体エピタキシャル多層構造を、シリコンプラットフォーム上に高精度で常温直接接合する技術を開発し、これによる能動素子の集積化を実証せんとした。

第 2 章は"Ar/O₂ plasma assisted direct bonding of silicon and InGaAsP layers"と題し、アルゴンと酸素の混合ガスのプラズマ処理を用いたシリコンと InGaAsP の常温直接接合プロセス技術に関し論じている。まずボンディング界面中間層として InGaAsP 層を当てることが述べられた後、種々のプラズマ処理条件が比較検討されている。さらに、異なる条件下で接合された境界面の機械特性、電気特性の比較検討が詳細になされている。続いて、アライメントおよび接合後アニーリングに関する考察を行い、直接接合により多重量子井戸のフォトルミネッセンススペクトルがどのように影響されるかについても述べている。

第 3 章は"Direct current pumping light emission of silicon/InGaAsP heterointegration"と題し、シリコンと InGaAsP の常温直接接合界面を横断して電流を注入することによる、化合物半導体多層構造のエレクトロルミネッセンスについて論じている。まず、直接電流注入発光ダイオードの作製方法を述べた後、実際に界面横断電流注入を行って発光させた際の特性を測定評価した結果について論じている。

第 4 章は"Silicon/InGaAsP heterointegrated active waveguide devices"と題し、上記常温接合技術を用いて半導体レーザとフォトダイオードをシリコン上に作製したことについて論じている。シリコン基板に形成したリブ構造上に、InGaAsP/InP 化合物半導体レーザ用多層構造ウェーハを、アルゴン酸素プラズマ法を用いて接合している。このウェーハは、発光波長 1.56 μm の 6 層の多重量子井戸層を InGaAsP の光閉じ込め層で挟み込んだ構造をしている。1 μm の高いアライメント精度を有するボンダを用いて、シリコンリブ構造とレーザウェーハの出射端面が垂直になるように接合を行っている。さらに、アルゴンと酸素の照射時間を最適化することで接合面での電氣的接続を確立した。その結果、12°C、55mA でのシリコン上ファブリーペローレーザ発振を実現した。

次に、上記技術を発展させて、導波路型フォトダイオードの試作を行っている。実際にシリコンリブ構造と III-V チップに光ファイバから光を入力し、逆方向バイアス時における光電流を測定した結果、0.398mW 入力時に、逆方向バイアスが 0.5V 以上で光電流が飽和し、光強度に線形なフォトダイオード特性が得られた。このことから、シリコンプラットフォーム上への様々な用途の III-V チップ集積が、同様な技術で可能であることが示された。

第 5 章は"Optical interconnection of silicon based photonic devices"と題し、シリコンマイクロマシニング技術に基づく深堀エッチングを適用して、シリコン細線導波路と外界を接続する 3 次元スポットサイズコンバータを試作したことについて述べている。サブミクロン深堀エッチングにおけるマイクロローディング効果を利用した、簡便な 3 次元スポットサイズコンバータ作製技術を開発して、実際に幅 4.6 μm、高さ 3.1 μm のシリコンリブ光導波路を幅 280nm、高さ 500nm のシリコン細線光導波路へとスポット変換することに成功した。その際の結合損失は 1.52dB であった。

第 6 章は結論であって、得られた成果を総括するとともに将来展望について述べている。

以上のように本論文は、シリコンプラットフォーム上に III-V 族化合物半導体をアルゴン・酸素プラズマ処理により常温直接接合する技術を実証、最適化し、いままで困難といわれていたシリコン基板からの電流注入によるエレクトロルミネッセンスとファブリーペローレーザ発振を実現した。さらに、展開例としてフォトダイオードとしての実用可能性も示し、低損失結合のためのマイクロマシニング技術を活用したシリコン製 3 次元スポットサイズコンバータの開発にも成功したものであって、先端学際工学分野に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。