

超低エネルギー消費量の 超小型45GHzGe フォトダイオード

将来の通信ネットワークの帯域幅要求に応えるために、多くの研究所がシリコン(Si)フォトニクスと他の半導体プラットフォームをベースにしたフォトニクス統合アーキテクチャの開発を進めている。最近になって、米サンディア国立研究所、英IQEシリコン・コンパウンズ社、米マサチューセッツ工科大学(MIT)の研究チームは、サンディア国立研究所のCMOS対応のSiフォトニクスプロセスに必要なコンポーネントとして、1.2fFと非常に低い固有容量をもつ超小型・高速ゲルマニウム(Ge)フォトダイオードを開発した。これは、固有容量が非常に低いことにより、トランスインピーダンス増幅器(TIA)なしにトランジスタのゲートの直接駆動を可能にし、次世代通信リンクの電力消費量を劇的に低減するだろう⁽¹⁾。

ボトムアップアプローチ

ブランケットエピタキシーを使った層成長、それに続いてリソグラフィおよびエッチング段階での材料除去からなる通常のSi上Geフォトダイオード製造プロセスの代わりに、研究チームはGeを酸化物ウィンドウ(窓)内に選択成長させる、ボトムアップアプローチを採用した。このアプローチでは、発生した転位が窓のエッジ部分で終端するため、検出器構造内の転位密度を低減し、暗電流を全体的に低く抑えることができる。

フォトダイオードの製造ステップは、Si台座の最上部にある酸化物のトレンチ内におけるホウ素ドーパGeの選択そ

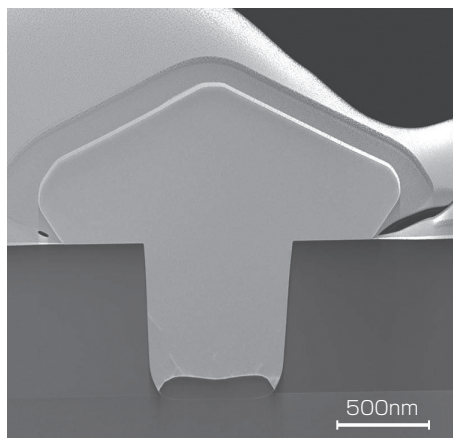


図1 透過型電子顕微鏡(TEM)断面像は、化学機械研磨(CMP)に先立ち選択領域エピタキシャル被覆成長させたゲルマニウム(Ge)構造を示している。このフォトダイオードのボトムアップ製造プロセスによって転位欠陥密度の低減が可能になる。(資料提供:サンディア国立研究所)

の場合成長を含む(図1)。このGeは被覆成長させ、化学機械研磨(CMP)によって最終的にGeの厚みが目標の0.6 μm になったところで、導波路平坦化プロセスを終了した。フォトダイオードのn型層とトップ電極を形成するためにリンが注入された。続いて酸化物キャップ層を堆積して縦型n-i-p構造を完成させた。電気接点形状を追加したあと、プラズマ化学気相成長法(PECVD)によって2.5 μm 厚みの光学酸化物クラッド層を形成した。

作製された導波路幅1.3~5.3 μm 、長さ64 μm のフォトダイオードにおいて、暗電流、応答性、3dB帯域幅、雑音等価電力(NEP)を解析した。暗電流の最低値は1Vの逆バイアス下で約40mA/cm²で、導波路幅が増すに伴って増加したが、製造プロセスにアニール段階を余分に追加して転位欠陥をさらに減らすことにより、1mA/cm²台まで低下

することが明らかになった。応答性は導波路幅と長さを増すことによって向上したが、暗電流の増加が応答性の増加よりも速い速度でショット雑音を増大させるため、よりNEPが高く感度の低いフォトダイオードとなった。その結果として、フォトダイオードは小型であるほど感度が高く固有容量が低くなった。

「超」高性能

このクラスで寸法が60 μm^2 台である他のSi上Geフォトダイオードの実証とは異なり、ボトムアップ製造された寸法がわずか5.2 μm^2 (1.3 \times 4 μm)の超小型Geフォトダイオードは、1Vの逆バイアス下で45GHzの帯域幅、3nAの暗電流、0.8A/Wの応答度を示した。そして、0Vの逆バイアス下では37GHzの帯域幅と30 μA の光電流を示すことから、このデバイスは間違いなくCMOS駆動電圧で高速動作する。

サンディア国立研究所のシニア技術スタッフであるクリストファー・T・デローズ氏は、「当研究所は高性能コンピューティング(HPC)において長期にわたりリーダーシップを発揮してきた。将来のHPCシステムで重要とされる技術は、CPUを接続する超低電力光通信リンクである。非常に高い帯域幅と低い容量(フェムトファラッド)のGeフォトダイオードが、最終的にサブ100fJ/ビットの光通信を現実のものにするだろう」と語っている。(Gail Overton)

参考文献

- (1) C.T. DeRose et al., Opt. Exp., 19, 25, 24897-24904 (Dec. 5, 2011).