

Ge-on-Si エミッタがシリコンフォトニクスを前進させる

最近の数年で、シリコン (Si) ベースのフォトニックデバイスの開発は急増した。しかし、Si ルータ (www.laserfocusworld.com/articles/343738 を参照)、モジュレータ、導波路、スイッチ、Si フォトダイオード (www.laserfocusworld.com/articles/347384 を参照) のほか、

ハイブリッド Si レーザ (www.laserfocusworld.com/articles/343731 を参照) の開発にさえ成功したにもかかわらず、シリコンフォトニックコンポーネントを集積した全 Si レーザはいまだに実現の見込みは立っていない。この議論は、シリコンフォトニクスのインターチッ

プおよびイントラチップネットワーク (www.laserfocusworld.com/articles/353971 を参照) 実現に向けた正しいロードマップに沿って激化しているため、いくつかの研究グループは真の意味で電氣的に注入された Si 光源の開発において前進を遂げている。

米カリフォルニア工科大学 (Caltech) の研究グループによる最近の 4.2 mW の電氣的に励起されたハイブリッドエバネッセントシリコン/ヒ化リン化インジウムガリウム (Si/InGaAsP) レーザの実証に加えて、米マサチューセッツ工科大学 (MIT) の研究グループも室温で直接遷移 (ダイレクトバンドギャップ) のエレクトロルミネッセンス (EL) を示すモノリシックに集積されたゲルマニウム・オン・シリコン (Ge-on-Si) 発光ダイオード (LED) を作製した^{(1), (2)}。

シリコンハイブリッド以上の良さ

電流注入は、Si 導波路に接着された、もしくは Si ベースの緩衝層上に成長させた 1550nm ハイブリッド III-V Si レーザにおいて可能だが、作製コストが高いため大量生産は難しい。相補型金属酸化膜半導体 (CMOS) 製造プロセスと互換性のあるモノリシックに集積されたエミッタのほうがより優れたアプローチだ。これは、MIT チームが開発した Ge-on-Si LED によってもたらされた結果だ。

Si とは異なり、Ge は自身の間接遷移よりも僅かしか大きくない (0.136eV の差) 直接遷移をもつ。非放射プロセスからの非常に低い損失で、放射で正孔と再結合した伝導帯の垂直な溝に電子を注入

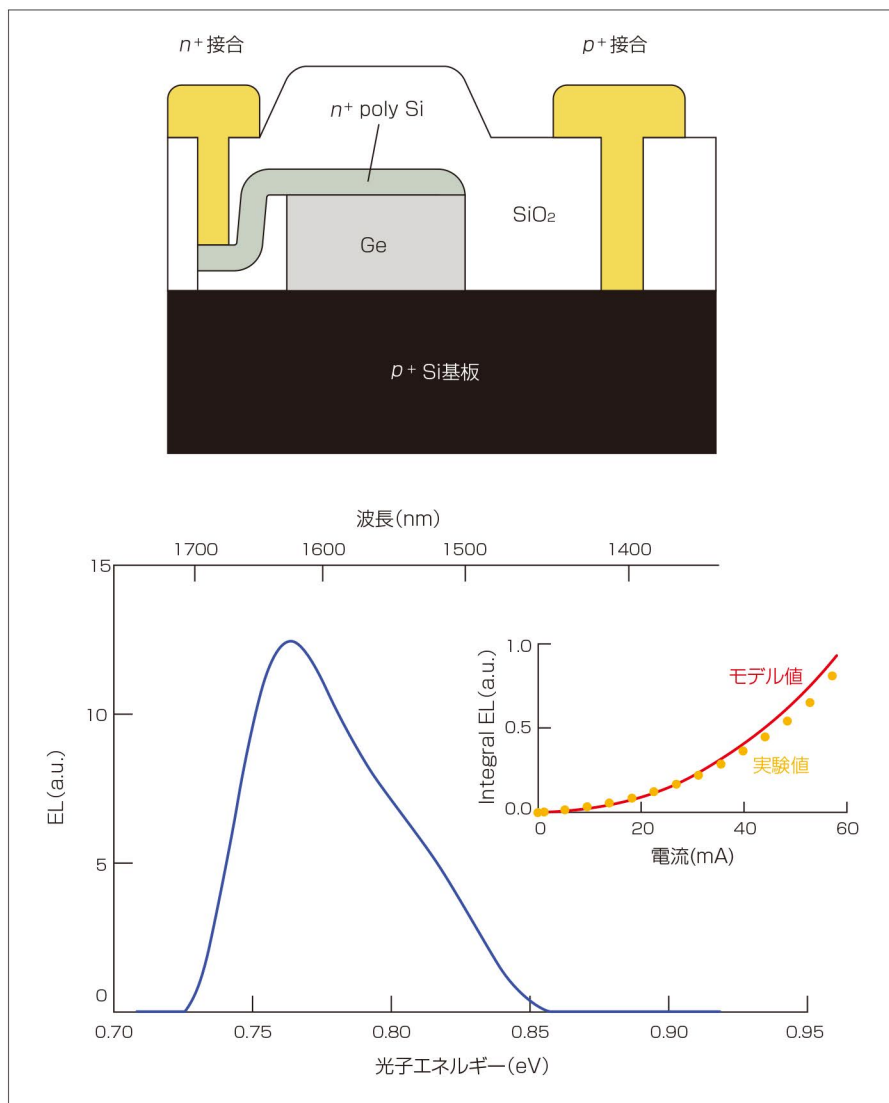


図1 モノリシックに集積された Ge-on-Si デバイス (上) は室温で直接遷移ルミネッセンスを示した。エレクトロルミネッセンス (下のスペクトル) は電氣的に注入された電流 (挿入グラフ) の関数として強度を上昇させる。(資料提供: MIT)

するように設計できる。観察された直接ギャップのフォトルミネッセンスは、Si上のエピタキシャルGe薄膜への内面2軸の引張応力を取入れることによって押し上げられた。計算では、Geは2%の引張歪み値で0.5eV(2500nm)の直接遷移材料となるため、0.20~0.25という小さな歪み値が発生し、これによってより高い品質と信頼性をもつ材料の1550nmの通信波長近傍でのバンドギャップが得られる。

デバイスは、ホウ素ドーパのSi基板上に成長させたエピタキシャルGeによって作製された。この基板の上に蒸着した二酸化ケイ素(SiO₂)層は、これに続くGeの成長用の領域を露光するためパターン化される(図1)。0.20%の引張歪み

を発生させるため室温により冷却の後、1.7μm厚のGe層を緩和させるため、成長後の熱アニールが施された。最終被覆としてnおよびp接合とともに多結晶Siが加えられた。

電流注入が50mAの電流で20×100μmのデバイスに適用され、0.77eV(または1610nm)の直接遷移エネルギーで光学放射が発生した。これは、研究グループが把握する限り、Geデバイスから初めて観察された直接遷移のエレクトロルミネッセンスだ。この直接遷移エレクトロルミネッセンスは注入された電流と超線形の関係を示すため、

Ge-on-Siデバイスは電氣的励起やモノリシックなSi上の光エミッタとして有望な候補となる。

MITの研究者であるシャオチェン・サン氏は「Geは可能性のある効率的な光エミッタとして、ごく最近まで真剣に検討されてはいなかった。MITによる引張歪みのGeに対する広範囲な研究によって、Ge LEDの実現に向かっていく。ミリワットのオンチップ光エミッタを目指して数桁の性能向上のためさらなる設計や最適化が行われることになっている」と語っている。

(Gail Overton)

参考文献

- (1) X.Sun et al., Optics Lett. 34(9) p. 1345 (May 1, 2009).
- (2) X. Sun et al., Optics Lett. 34(8) p. 1198 (April 15, 2009).

LPWJ