

# アバランシェモードLEDが CMOS ICの光結合改善

シリコンフォトリクスの世界では、研究者はコンパクトなモノリシックプラットフォームの開発を目標にしている。これは、光源とフォトディテクタを集積して、光の速度で電気-光-電気の変換を行うプラットフォームである。ほかの光電子ICと同様、目標は効率的な高速ルーティングとチップのON/OFF信号処理である。同じことは相補型金属酸化膜半導体(CMOS)プラットフォームでも言えるが、光インタコネクタあるいはオプトカプラ技術は、これまでは、相対的に低速(kHz)動作のバルク赤外(IR)光源に限られていた。

CMOS ICにおけるオプトカプリングを前進させるために蘭トゥウエンテ大(University of Twente)の博士課程学生、サターダル・ドゥッタ氏(Satadal Dutta)は、可視光を生成するために「アバランシェブレイクダウン」モードにバイアスされたシリコン発光ダイオード(LED)を提案した。可視光は、高い量子効率プロセスで標準シリコンフォトダイオードにより簡単に検出されるからである<sup>(1)</sup>。加えて、同氏と博士課

程学生ヴィシャル・アガーワル氏(Vishal Agarwal)は、アバランシェモードLED、導波路、シングルフォトンアバランシェダイオード(SPAD)ディテクタを使ってCMOS ICをモデル化し、設計した。SPADディテクタは、理論的には、ギガヘルツ速度で動作し、シングルフォトン検出感度がある。本質的に、オールシリコンプラットフォームは、ハイブリッド材料系によってもたらされる障害の多くを回避する。

## オールシリコン発光と検出

現在の光インタコネクタ技術は、ガリウム砒素(GaAs)LEDとシリコンフォトトランジスタの利用を含んでおり、優れた5kVガバナック絶縁を実現しているが、遅延が大きい(2μs程度)。III-V半導体材料あるいは有機材料を使用するバリエーションは、3kV絶縁を達成できるが、報告されている最大速度は70kHzにすぎない<sup>(2)</sup>。

シリコンインタコネクタの問題は常に、シリコンベースの光源の1.12eV間接バンドギャップが波長1100nm付近

で発光することである。これはIR発光であり、本質的にシリコンベースのフォトディテクタに適合していない。

量子効率改善に向けて光源の発光とフォトディテクタのオーバーラップを改善するために、ドゥッタ氏は、シリコンベースの光源の発光波長を短波長化する方法に焦点をあてた。すなわち、Si LEDをアバランシェブレイクダウンモードで動作させ、発光を900nm以下に変換することで光検出を改善し、これにより量子効率を改善する(図1)。10<sup>9</sup>程度の結合効率が達成された。同氏は、6V付近のブレイクダウン電圧をもつシリコンダイオードが最高の光出力効率であることを示した<sup>(3)</sup>。

アバランシェモードLEDは小信号変調速度が最大20GHzであるが、所要の高バイアス電圧が熱効果と寄生効果を引き起こす。この問題に対処するために、140nmシリコン・オン・インシュレータ(SOI) CMOS技術を利用して慎重に設計された駆動回路は、アガーワル氏によるオプトカプリング・イン・CMOS共同プロジェクトの一部として設計さ

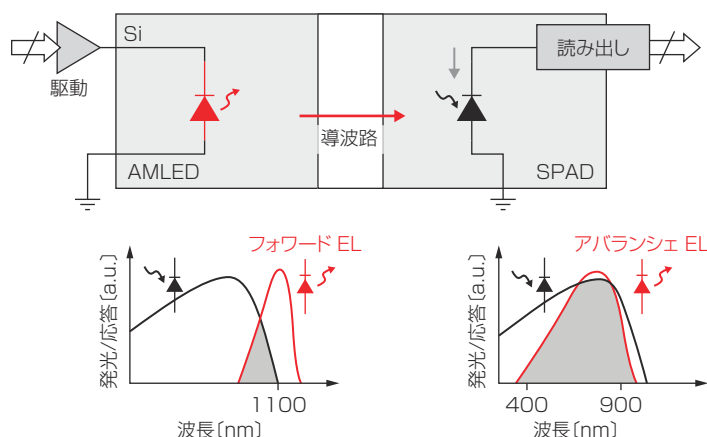


図1 シリコンLEDをアバランシェブレイクダウンモードにバイアスすることでその発光を<900nmの波長にシフトさせ、シリコンフォトディテクタと検出オーバーラップを改善し、それに応じてCMOSプラットフォームにおいて効率的な光インタコネクタで量子効率が向上する。(提供:トゥウエンテ大)

れた。SOI CMOS技術は、LEDへの供給電荷量をコントロールするためにセルフレクエンチ法を利用している。

最終的に、アバランシェモードLEDは内部量子効率が低く ( $10^5$ )、これが信号対雑音比 (SNR) を低下させるので、高感度SPADディテクタが選択された。

## シリコン導波

オールシリコン設計では、光源とディテクタの間に重要なリンク、つまり導波路がある。これは、選択肢が限られているため、設計全体の最大の難問である。ドウッタ氏は、「現在のシリコン・オン・インシュレータ (SOI) 技術におけるフォトンの導波は、漏れがあり、ドロが詰まっ

たパイプラインで配水するのと同程度の実効性である。可視光を送るために、CMOS積層で他の誘電体膜を用いる必要がある」と話している。

SOIと窒化シリコン ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) のようなCMOS適合誘電体との組合せは、チップ内  $10\mu\text{m}$  以上の距離で可視光とNIR光スペクトルの両方を横並びで伝搬できる。広帯域スペクトルと等方性LED放射特性に関連する導波路効率の幾何学的決定要因を調べるために、有限

差分時間領域 (FTTD) シミュレーションを使った。

「アバランシェモードSi LEDは、その潜在性と基礎物理学が豊富である」とドウッタ氏は付け加えている。「まだ解明されてない不可解なことは多いが、最もシンプルな半導体デバイス、p-n接合が、デバイス設計と技術次第で広帯域で流れるようなスペクトルを放出することができる」。

(Gail Overton)

## 参考文献

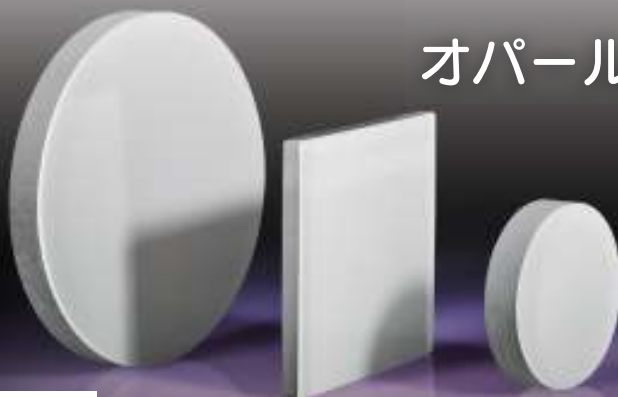
- (1) S. Dutta, "Avalanche-mode silicon LEDs for monolithic optical coupling in CMOS technology," PhD Thesis, University of Twente (Nov. 8, 2017); see <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/17337861>.
- (2) D. Li et al., IEEE Electron. Device Lett., 36, 2, 171-173 (2015).
- (3) S. Dutta et al., IEEE Electron. Device Lett., 38, 7, 898-01 (2017).

LFWJ

## THE FUTURE DEPENDS ON OPTICS

## 紹介します

## オパール光拡散ガラスの代替品



- サンドブラスト加工した半透明ホワイトガラス
- 2つの散乱メカニズム
- 近赤外線での優れた散乱性能

オパールコーティングが施されたガラス材料は、均一拡散のニランバート光源を作り出すのに共通して用いられます。しかしながら、ガラスメーカーでのこのガラスの生産終了に伴い、今後の調達・供給にも限度があります。ホワイト拡散ガラスや広帯域ハイブリッドディフューザーといった製品が、このガラスに置き換わる候補となります。

エドモンド・オプティクス・ジャパン株式会社

〒113-0021 東京都文京区本駒込2-29-24

パシフィックスクエア千石 4F

TEL: 03-3944-6210 Email: [sales@edmundoptics.jp](mailto:sales@edmundoptics.jp)

 **Edmund**  
optics | japan

詳しい情報はこちらへ:

[www.edmundoptics.jp/038-8155](http://www.edmundoptics.jp/038-8155)