

標準ワイヤーボンディング技術で Ge デテクタの帯域が2倍に

アクティブシリコン光回路の中には、フォトデテクタ材料としてゲルマニウム (Ge) を利用し、ハイブリッドシステムを作ることで恩恵を受ける形態がある。このようなゲルマニウム導波路結合フォトデテクタは、垂直または横 $p-i-n$ 接合構造のいずれかを採用。横構造は 3dB 帯域 120GHz であるが、それよりも作製が容易な垂直構造は 3dB 30GHz 帯域を超えるのは難しかった。これは非常に複雑な技術を多く使用しているためである。

最近、中国の華中科技大と華為技術 (ファーウェイ・テクノロジーズ) の研究者たちは、従来の垂直 $p-i-n$ 接合 Ge デテクタの速度を 30GHz から 60GHz に高める簡単な方法を考案した⁽¹⁾。この技術は、標準的なワイヤーボンディング技術を利用して金線をデテクタの個別接地電極に導入する。

いわゆる RC 寄生パラメータ (R と C は、それぞれフォトデテクタ等価回路の抵抗と容量を表す) が、デテクタの高速動作を制約している。しかし、デテクタの RC 回路にインダクタ (L) を導入して、いわゆる RLC 回路を作ることによって高速動作が可能になる。これは導入したインダクタンスが、容量の影響の一部を相殺するためである。

複雑なオンチップインダクタを作る代わりに、研究グループは金線を Ge デテクタにワイヤーボンディングするだけで「オフチップ」インダクタを作製している (ただし、ワイヤーは実際には Ge デテクタ自体にある)。そうするために研究チームは、デテクタの単一の従来型電極全体を、分離した 3 つの部分に変

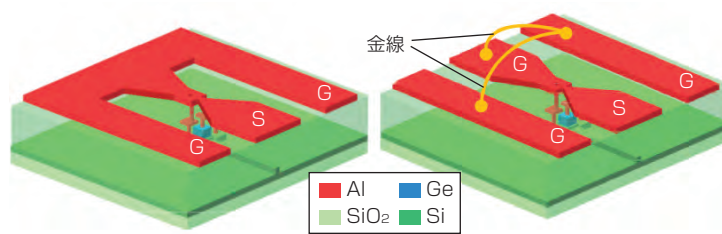


図1 左が、従来の垂直 $p-i-n$ ジャンクション Ge デテクタで、電極全体が 1 つになっている。右は、変更した Ge デテクタで、分離された 3 つの部分からなる。これらの電極は、標準的なワイヤーボンディングプロセスによって金線で接続され、単一の電極を構成する。これによりインダクタンスが増加し、デテクタの帯域が向上する。

え (図1)、実際の光検出部分は変えないでそのままにした。次に、研究チームは、2本の金線を導入して2つの個別接地電極を接続した。金線はインダクタを形成しており、インダクタンス値は金線のサイズと長さに依存する。

例えば、デテクタは、約 $450\mu\text{m}$ 長、 $25\mu\text{m}$ 径の金線を用いて作製できる。これによりインダクタンスと抵抗は、広い周波数域でそれぞれ 1nH/mm と $2\Omega/\text{mm}$ になる。このデバイスでは、デテクタの帯域が 30GHz から 60GHz に倍増することが、計算により分かっている。

実験が概念を実証

実験用の Ge フォトデテクタは、 $0.18\mu\text{m}$ CMOS プロセスを用いてシンガポールのマイクロエレクトロニクス研究所 (IME) でシリコンウエハ上に作製された。まず、 500nm 幅のシングルモードチャンネル導波路をシリコンに作製、それに加えてグレーティングカップラを深さ 70nm にエッチングし、光がデテクタに垂直結合するようにした。次に、全体で約 700nm の Ge ドープ層を成長させ、続いてエッチングした。さらに金属を堆積して電極を形成した。成形加工後に全体長約 $450\mu\text{m}$ の金線 2 本を

ボンディングしてデバイスは完成。

ワイヤーボンディングによって応答性が、 1550nm 、 -3V バイアス電圧で 1 から 0.85A/W にわずかに低下した。これはワイヤーの抵抗に起因するものである。 -0.5V のバイアス電圧では、ワイヤーボンディングによってダークカレントは 64 から 61nA にわずかに減少した。

デテクタの周波数応答は、 1550nm 波長の光を出力約 5dBm で、クリーブしたファイバでデバイスに結合して計測した。周波数が高いとジッタが若干見られたが、これは計測に使用した電線と接続の帯域制限のためである。3dB 応答が 60GHz を超えていることが確認された。

ワイヤーボンディング技術は Ge 導波路デテクタ作製の標準的な部分であるので、ここに示した方法に特別な製造プロセスは必要でないことを研究チームは指摘している。また、ボンディングしたワイヤーは簡単に除去でき、長さや直径が同じでも違っても、再度ワイヤーをボンディングすることができる。

(John Wallace)

参考文献

(1) G. Chen et al., Opt. Express (2015); doi: 10.1364/OE.23.025700.