

人間と同じように炎を認識できる高感度半導体センサの開発

Development of high sensitive semiconductor detectors enabling flame detection like human beings

2151003



研究代表者

佐賀大学大学院 工学系研究科

特任助教

大 島 孝 仁

〔研究の目的〕

人間と機械の調和を促進するための第一歩は、人間と同じ認識力を機械が持つことである。機械は、各種半導体、MEMS センサの研究開発によりほぼ人間と同じ認識力をすでに獲得しているが、炎の認識については不得手である。人間は経験により容易に炎を識別できるが、機械にとって炎を照明光（可視光）や高温物体からの熱線（赤外線）と区別して識別することは困難であり、現状、機械は炎を取り扱う調理や燃焼炉での作業を人間と同じようには行えない。この問題の解決には、炎から放射される微弱な深紫外線を高感度で選択検出する必要がある。

この炎検出について、我々は、世界で初めて酸化ガリウム（ Ga_2O_3 ）単結晶を用いたショットキーフォトダイオードを作製し（図1を参照）、さらに図2,3に示すように室内照明下における炎の選択的検出に成功した。しかしながら、ライター炎に対する検出可能距離はわずか5 cm 程度であり、前述の炎を扱う機械に搭載するセンサとしては性能が不足していると言わざるをえない。この低感度の原因は、ショットキーフォトダイオードへの印可電圧がゼロであり、増幅作用が期待できず光電変換効率（光感度に相当）が約20%と低いためである。

そこで、我々は検出距離のさらなる延長のために感度増幅が必要であると考え、増倍作用を有する受光素子作製に本研究で取り組んだ。

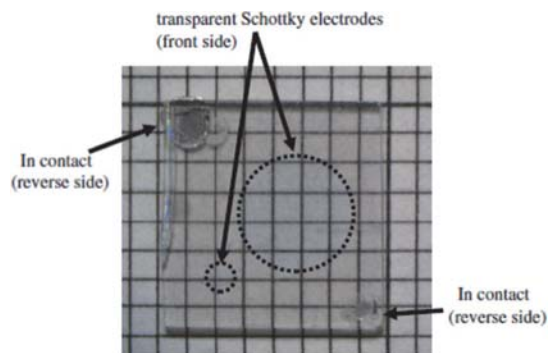


図1

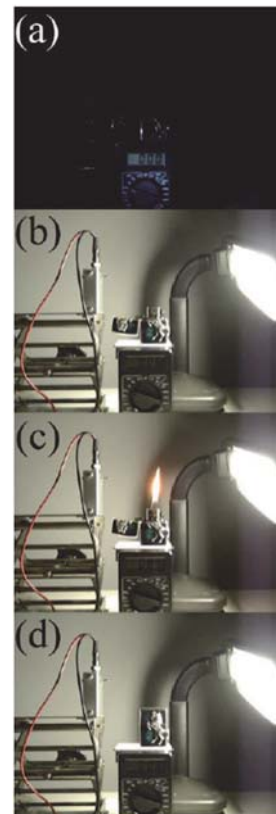


図2

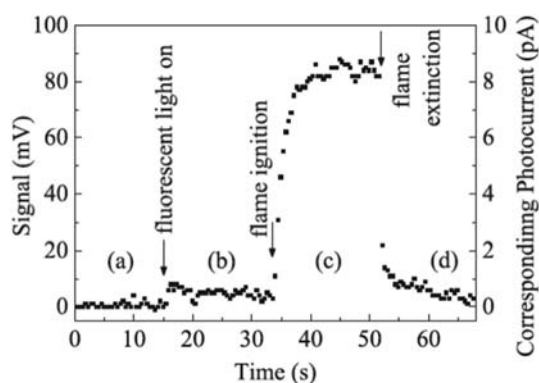


図 3

[研究の内容, 成果]

1. 増幅機構の付与

高感度化, すなわち光電流増倍のためには, 高逆電界をショットキーバリアダイオードに印可する必要がある。しかし, Ga_2O_3 単結晶プレートに直接形成したショットキーバリアダイオードは, 逆バイアス時のリーク電流が大きくかつばらつきが大きい。この解決には, 単結晶にエピタキシャル成長などにより低キャリア濃度の層を作製する必要がある。代表者は, さらに簡便な熱酸化により表面付近に絶縁層を形成して, 高逆バイアス電圧に耐えうる構造を作製し, その光応答を評価した。

ショットキーフォトダイオード作製プロセスを図4に示す。熱酸化は大気中で行い, 同時に裏面にあるIn電極をオーミック化した。ショットキー電極にはPtを選択し, 十分に光透過可能な10 nmに厚みを設定した。

作製した素子に対して, 暗示と光照射時(温度依存性含む)の特性を図5に示す。なお, 測定にはプローバーを用いている。-80 V印可時にも流れた逆電流は1 pA程度と微少であり, リーク電流のレベルが非常に小さかった。これは絶縁層が挿入された効果である。また, 素子は, 254 nmの低圧水銀灯の輝線に応答したが, その光電流は逆バイアスが増大するとともに, また素子温度上昇とともに増大することが分かった。

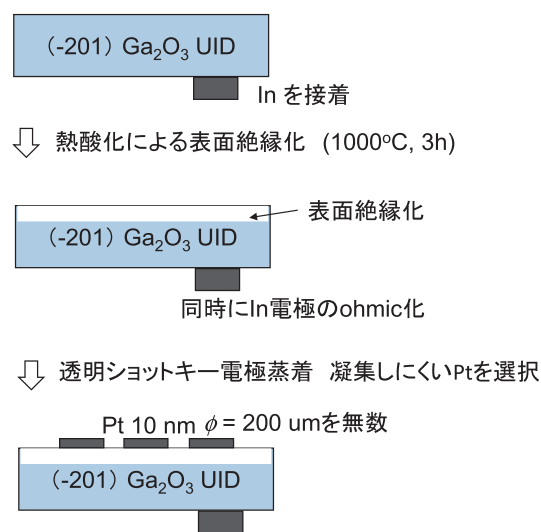


図 4

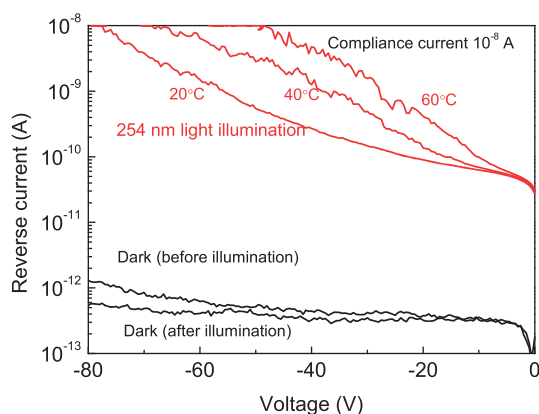


図 5

得られた結果に対して, 増幅率を(光電流量)/(5 Vのときの光電流量)と定義し, その増幅率をプロットした結果を図6に示す。一見して判断できるように, 高逆バイアス側で100倍を超える高い増幅率が得られた。また, 温度上昇とともに増幅率が増大した。

温度に対して正の相関を示すことから, 増幅機構はいわゆるアバランシェ増幅とは異なりトンネル機構で説明できる。すなわち, 光生成キャリア(特に遅い正孔)がショットキー電極界面に偏析し, その偏析した電荷により障壁にさらに逆バイアスが印可される構造となり, トンネル電流を増大させたと考えられる。

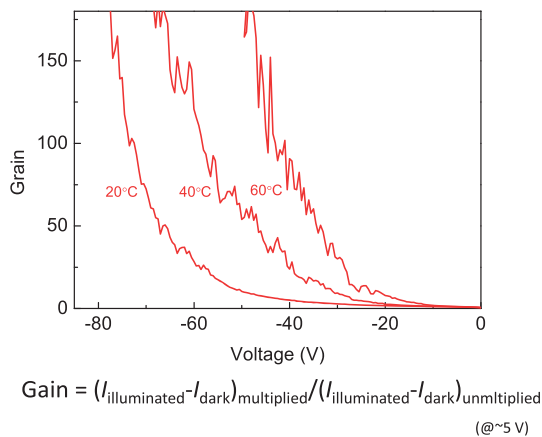


図 6

2. 実用プロセス検討

我々は、増幅機構の他に実際のデバイスプロセス適合性も検討した。高感度光素子は基本的にステム上に取り付け、その電極に対して配線が必要である。我々は、図7に示すプロセスでGa₂O₃ショットキーフォトダイオード受光素子を複数作製した。そして、そのショットキー素子の電流電圧特性を評価において、プローバーで評価後、ステム台に取り付けさらに配線をワイヤーボンディングにつけて評価した。図8は、そのボンディング前後における暗時の電流電圧特性である。逆方向バイアス時における電流が、ボンディング後では3桁以上増大し、ショットキー性が極端に低下していることが分かった。これは、ボンディングによるダメージでショットキー電極が劣化し、ショットキー性が低下したと考えられる。量産デバイスはすべてワイヤーボンディングで配線する必要があるため、実際に応用を目指す際にはボンディング部をショットキー電極から遠ざけるように、電極を形成する必要があることが分かった。

〔今後の研究の方向、課題〕

高性能のGa₂O₃半導体炎検出素子を目指して、増倍機構を有するショットキーフォトダイオードが作製できた。しかしながら、その増幅

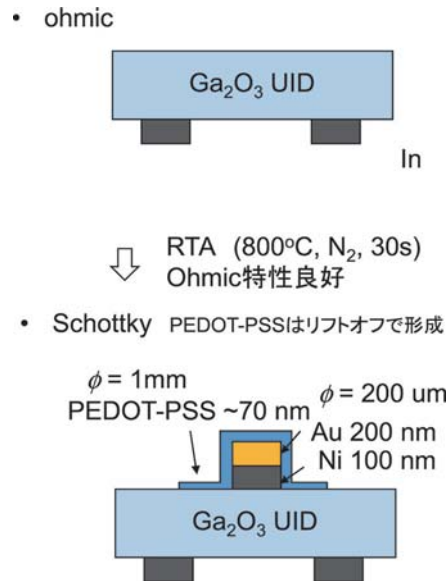


図 7

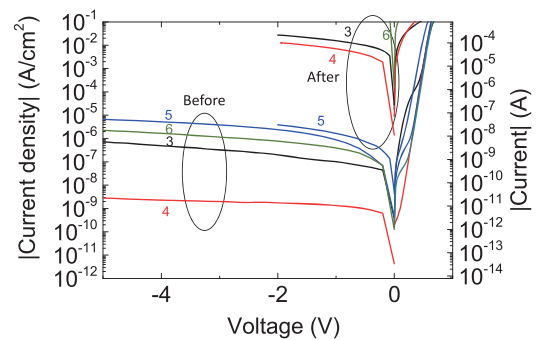


図 8

はトンネル機構に支配されており、アバランシェ増幅ではなかった。また、ショットキー電極に対して直接ワイヤーボンディングするとボンディングダメージにより特性が著しく劣化することが分かった。今後は、デバイスの設計を見直し、ボンディング箇所とショットキー電極を空間的に分離し、かつトンネルを抑制できる構造の作製を進めている。

〔成果の発表、論文等〕

- 1) 大島孝仁, “酸化ガリウムの研究とエレクトロニクスへの応用” グリーンエレクトロニクス研究所セミナー, 佐賀大学 (2015年10月21日)。