

信号電流増幅機能を有する CVD ダイヤモンド検出器構造の検討

Device structure suitable for CVD diamond detectors
with signal current amplification function

大阪大学大学院工学研究科 [○]森 裕章, 毎田 修, 伊藤 利道

Graduate School of Eng, Osaka Univ., [○]Hiroaki Mori, Osamu Maida, Toshimichi Ito

E-mail: h.mori@ daiyan.eei.eng.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

ダイヤモンド検出器の利点として、バンドギャップが 5.5 eV と広いことから室温でも雑音特性が良好で、可視光領域に感度を持たないこと等があげられる。当研究室ではこれまで、高品質 CVD ダイヤモンド薄膜を用いて、局所的に高電界領域を形成することにより生じる大幅な信号電流増幅機能を有する紫外線・軟 X 線検出器の開発が行われてきている。これまでの研究で、印加電圧の増加とともに急激に増大する検出電流は、漸近的に印加電圧の二乗に比例することが報告されている[1]。この現象は空間電荷制限電流機構が支配的になっていることを示すが、この印加電圧領域の電流値は 10^{-6} A 程度以下であるため、ダイヤモンド検出器の増幅された電流が局所的に高密度化していると考えられる。

そこで本研究では、ダイヤモンド検出器の電流密度と増幅度との相関についての知見を得るため、ダイヤモンド中に生成された励起キャリアを高密度に収集可能なダイヤモンド検出器構造の検討及び適正化を行うことを目的とした。

2. 実験

まず、励起キャリアを高密度に収集するため、膜成長方向にキャリアを閉じ込められるような検出器の基本的素子構造を、2 次元デバイスシミュレーター(Silvaco 社製 ATLAS)を用いて検討した。その後、検出器を構成する各ダイヤモンド層について、その膜厚、不純物ドーパ元素の種類や濃度等の適正化を行った。

3. 結果及び考察

図 1 に、シミュレーションに基づき適正化した CVD ダイヤモンド検出器のデバイス構造(断面図)を示す。表面層の i 型ダイヤモンド層と相対的に薄い n 型埋込み層との接合によって生じるポテンシャルエネルギー差 ϕ_e (図 2 参照)を利用して、n 型層を挟んでその上下に位置する(表面層とバッファ層)相対的に厚い高品質アンダー層中で励起されたキャリアのうち、電子を薄い窒素(または磷)ドーパ層の伝導帯に導き、結晶端面に形成した電極へ向かって走行させる。このとき、窒素(磷)ドーパ層の膜厚を極めて薄くすることで、励起キャリア(電子)の高密度化が期待される。例えば、表面 i 型層のみで数十 keV の電子を検出するため、その膜厚を $3.0\ \mu\text{m}$ とし、窒素(磷)ドーパ層の不純物濃度を $1.0 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ 、その膜厚を 50 nm、とすると、無バイアス時における伝導帯下端のポテンシャルエネルギーの深さ分布は図 2 に示すようになり、埋込み n 型層が窒素ドーパ層の場合は $\phi_e = 0.19\ \text{eV}$ 、磷ドーパ層の場合は $\phi_e = 0.14\ \text{eV}$ であった。従って、ポテンシャルエネルギー差が大きい窒素ドーパ層の方がアンダー層で励起された電子-正孔対をより容易に電子及び正孔に分離し、そのうち電子を n 型薄膜層へ移動させ易い、と考えられる。また、実際に作製する埋込み層の平坦性や結晶品質の観点から見ると、周期律表で炭素原子の隣に位置する窒素の方がダイヤモンドの置換位置に入り易く、有利である。ただし、n 型層に収集される電子が増大するにつれて、アンダー層へ染み出す領域が広がると考えられるため(図 3 参照)、電子の高密度化については更なる検討が必要である。詳細については当日報告する。

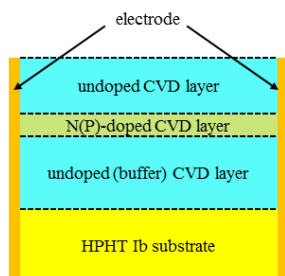


Fig. 1. Schematic structure (cross section) of CVD diamond detector proposed.

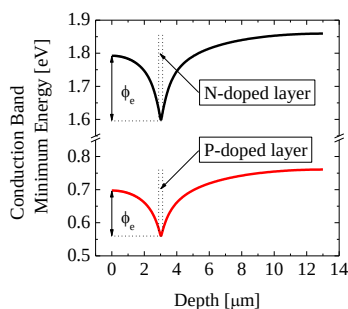


Fig. 2. Depth dependence of conduction band minimum energy calculated for proposed device structure containing buried N- or P-doped thin layer (50 nm).

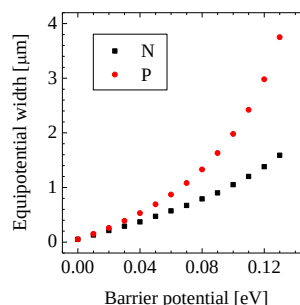


Fig. 3. Barrier potential dependence of equipotential width obtained for proposed device structure with buried N- or P-doped thin layer (50 nm).

参考文献

[1] H. Matsubara, Y. Saitoh, O. Maida, T. Teraji, K. Kobayashi, T. Ito, Diamond Relat. Mater. 16 (2007) 1044.