

不純物添加量の異なる Diamond の
ドーパント密度と準位の評価

E-03046 外館 憲

松浦研究室

【背景・目的】近年、エネルギー問題や環境問題の高まりと共に、パワーデバイス用半導体にも電気エネルギーの効率向上や耐大電流、大電圧化が求められている。現在、主流となっている Si (Silicon) を用いたデバイスは小型化や高速化など性能を向上させてきたが、電力密度の集中を招き半導体の温度が上昇する為、高温領域における動作に限界が迫っている。その為、ワイドギャップ半導体である Diamond が注目されている。Diamond は他の半導体材料の物性値よりも優れており、Diamond が半導体デバイスとして使用できるようになれば、高温、高電圧に優れた半導体として期待できる。しかし、Diamond をデバイスとして利用するには不純物ドーピングによる pn 制御が重要であるが、n 型 Diamond 半導体の作製は極めて困難とされている。最近になって μ 波 CVD (Chemical Vapor Deposition) 法での作製が可能となった。そこで、研究例の少ない n 型 Diamond 半導体の研究を行う必要がある。

【実験方法】合成 Diamond 結晶上に μ 波 CVD 法を用い、 PH_3 (Phosphine) 濃度 900、2000、3000 ppm の不純物添加量の違う 3 種類の P (Phosphorous) -doped Diamond エピタキシャル薄膜を作製した。この 3 つの試料を低温から昇温しながら van der Pauw 法による Hall 効果測定を行った。

【実験結果・考察】図 1 に μ 波 CVD 法でエピタキシャル成長させた P-doped Diamond 薄膜、2000 ppm (α)、3000 ppm (β) との電子密度の温度依存性 $n(T)$ を示す。濃度 900 ppm では高抵抗すぎて測定することができなかった。次に、 α は二回測定したが、グラフを見ると一回目のデータ (+) と二回目のデータ (Δ) では同じような数値が得られず再現性は確認出来なかった。 β では二回測定した結果、一回目 ($\blacksquare$) と二回目 ($\circ$) のデータに再現性を確認できた。

図 2 に α と β のフェルミ準位の温度依存性を示す。 α の二回目のデータは一回目の測定による温度上昇が原因で再現性が得られなかったと予想される為、一回目を使用する。図中には報告されている P のドナー準位を示している。図 2 から P のドナー準位 600 meV 付近よりフェルミ準位の方が浅いことが分かる為、励起状態が $n(T)$ に影響している可能性がある。まず、Diamond の励起準位を算出した結果、第一励起準位が 59 meV となりフェルミ準位よりはるかに浅いことが分かった。この結果から、励起状態が $n(T)$ に影響している可能性は無い事が分かる。

表 1 に $n(T)$ のシミュレーション結果によるドナー密度 (N_D)、ドナー準位 (ΔE_D) を示す。表 1 から α のドナー密度は $2.1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 β は $4.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ となった。更に、 β は α の 1.5 倍の不純物添加濃度に対して、ドナー密度は α の 200 倍である事が分かる。これを α の 1/2 以下の濃度である 900 ppm と比較すると、900 ppm のドナー密度は α のドナー密度の更に 1/200 以下であることが予想出来る。以上の結果から、900 ppm の低濃度の不純物添加量では導入できた P ドナー密度が少なく、高抵抗すぎて測定できなかったと考えられる。また、ガスの導入量でドナー密度が制御出来ることが分かった。

【結論】 μ 波 CVD 法で用いられる原料ガスに P 原子を含むガス PH_3 を導入することで n 型にできることが分かった。更に、 PH_3 の導入量でドナー密度が制御出来ることが判明した。

【謝辞】エピタキシャル成長した試料を提供して戴いた (独) 産業技術総合研究所の方々に心から感謝致します。

【参考文献】1) S.Koizumi et al., Appl. Phys. Lett. 71, 1066 (1997)
2) 高橋 清 監修「ワイドギャップ半導体 光・電子デバイス」

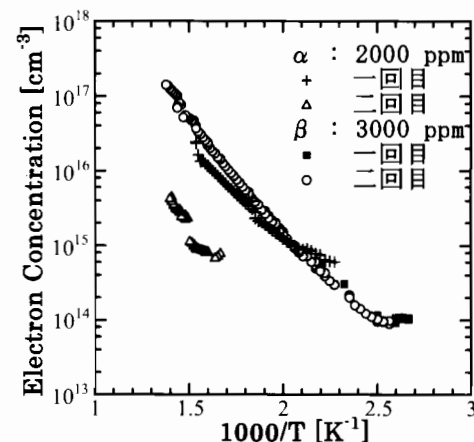


図 1 電子密度の温度依存性

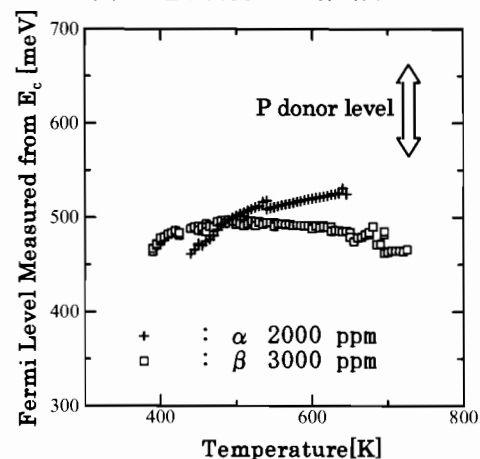


図 2 フェルミ準位の温度依存性

表 1 シミュレーション結果

PH_3 [ppm]	—	α	β
900	—	2000	3000
N_D [cm ⁻³]	—	2.1×10^{17}	4.0×10^{19}
ΔE_D [meV]	—	498	539