

2.1.2 ワイドギャップ半導体デバイスの開発

伊藤利道

電気電子情報工学専攻・教授

2.1.2.1 研究背景

ワイドバンドギャップ材料の一つであるダイヤモンドは、半導体材料中で最も強い絶縁破壊耐性、常温近傍における最も大きな熱伝導度、あるいは、最も広い電位窓など、優れた物性を多く有している。その卓越した絶縁破壊耐性及び熱伝導特性により、Johnson's, Keyes', 及びBaliga's性能指数はいずれも、他材料に比べ格段に大きい値を示すため、パワーエレクトロニクス材料としての活用が期待されている。しかし、ダイヤモンドの電子デバイスへの応用を実現するには、高品質結晶の作製プロセスを含め、多くの開発課題を解決する必要がある。我々は、これらの未解決課題について順次基礎的観点から研究を行い、それらの解決に寄与することを目指している。例えば、高出力マイクロ波プラズマ(MWP) CVD法を用いた作製プロセスにおいて近年大きな進展があり、従来せいぜい数十nm/h程度の成長速度でしか得られなかった高品質試料を数 $\mu\text{m/h}$ で成長できるようになっている [1, 2]。本年度は特に、p型[3]、及び、n型ダイヤモンドの作製プロセスの改善[4]を行なうとともに、ダイヤモンド電子デバイスの実用化が最も早期に期待できると予想される紫外線・軟X線検出器の試作に関する研究[5]を行った。

2.1.2.2 p型ダイヤモンドの作製プロセスの改善

ダイヤモンドのp型不純物はホウ素であるが、これまでのMWPCVD法におけるドーピング効率は余り高くなく、ホウ素ドーブ濃度を増大すると正孔移動度が大幅に低下するなど、その作製プロセスの改善が必要である。我々は最近、微斜面(オフ角)を有する(低品質)単結晶基板を用いてアンドープ試料のホモエピタキシャル成長を行なうと、成長速度が増大するばかりではなく、結晶品質も改善されることを見出した[6]。そこで、p型ダイヤモンドのホモエピタキシャル成長における基板オフ角(≤ 5 度)が及ぼす効果について同様に調べた結果、以下のことが判明した[3]：ホウ素ドーブ試料の場合も、(001)基板オフ角の増大とともに成長速度が増大する(図2.1.2.1(a))；オフ角の増大とともにドーピング効率が向上する(図2.1.2.1(b))；オフ角の増大とともに成長したダイヤモンド薄膜の結晶品質が改善される傾向がある。

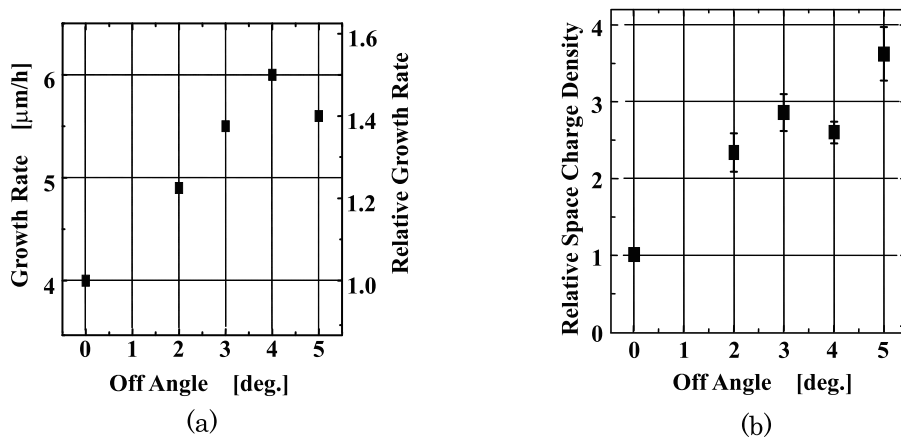


図 2.1.2.1 ホウ素ドーブホモエピタキシャル CVD ダイヤモンドの (a) 成長速度 及び (b) 空乏層の電荷密度(相対値)の基板オフ角依存性. オフ角 0 度 = (001) 面.

2.1.2.3 n型ダイヤモンドの作製プロセスの改善

ダイヤモンドのn型不純物候補は窒素であるが、その不純物準位は伝導帯下端から1.7eVもあり、関心ある温度領域では実用的なn型不純物では全く無い。現時点における唯一の実用的なn型不純物は燐であるが、他材料に比べ結合長が特に短いダイヤモンド中への燐ドーピングは困難であり、ダイヤモンドの伝導帯を走る電子が多数キャリアである試料の作製は容易でなかった。特に、結晶品質の良いホモエピタキシャル膜が形成される(001)基板上における燐ドーピングn型試料の作製は更に困難であり、信頼が置ける燐ドーピングn型試料作製に関する報告例はこれまで一研究機関からもたらされているのみであった。我々は、低出力MW源を用いて高出力MWPCVDと同程度の高密度MWPを形成することにより、従来の研究では高品質ダイヤモンド成長には不向きであると考えられていた石英管型MWPCVD装置でも、高品質ダイヤモンド薄膜がホモエピタキシャル成長できることをはじめて示した[7]。この方法をリンドーピング試料の作製に適用することにより、(001)基板上でのリンドーピングn型試料の作製に初めて成功した(図2.1.2.2) [4]。

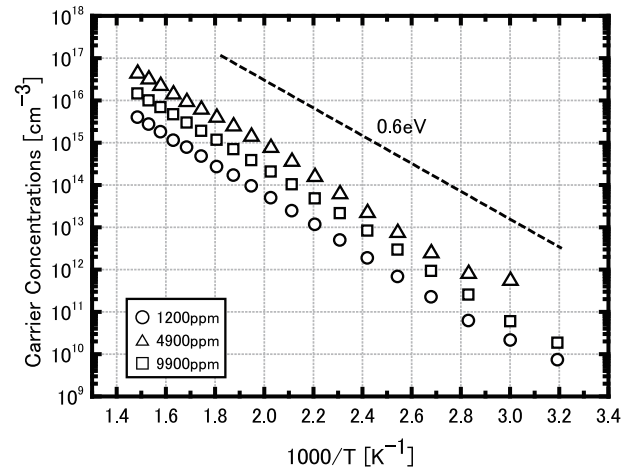


図 2.1.2.2 燐ドーピングホモエピタキシャル CVD ダイヤモンドのキャリア（電子）濃度の温度依存性. 図中の ppm 濃度は P/C 比.

2.1.2.4 ダイヤモンド電子デバイスの試作

ダイヤモンドのパワーデバイスへの応用を念頭に置いた各種プロセス開発には多くの課題が残されている。このため、他材料に対して差別化でき、ダイヤモンドに適した特殊用途に使用されるダイヤモンド電子デバイスの実用化をまず考慮すべきであろう。そこで、ダイヤモンドの種々の物性値や優れた放射線耐性から、我々は、紫外線、X線やその他の粒子線検出器へのCVDダイヤモンドの応用を検討しており[8]、最近、高品質CVDダイヤモンドで作製した検出器は紫外線や軟X線に対して優れた特性を有することを見出した[5, 9]。即ち、その物性値から期待される室温での低暗電流動作以外に、局所的高電界印加により信号電流が大幅に増幅されることを発見した(図2.1.2.3)。現在、高感度検出器としてのCVDダイヤモンドの可能性を詳細に研究している。

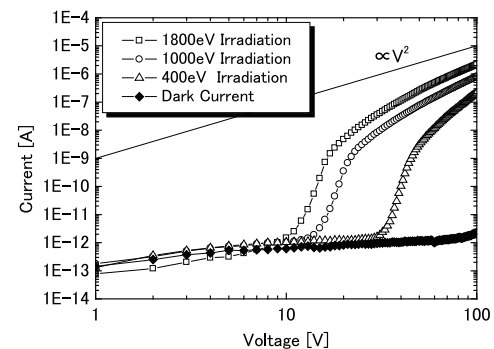


図 2.1.2.3 ホモエピタキシャル CVD ダイヤモンド検出器の軟 X 線検出特性例. 検出信号電流を印加電圧の関数としてプロット.

- [1] T. Teraji, and T. Ito: J. Cryst. Growth, 271 (2004) 409.
- [2] M. Hamada, T. Teraji, and T. Ito: Jpn. J. Appl. Phys., 44 (2005) L216.
- [3] K. Arima, H. Miyatake, T. Teraji, and T. Ito: J. Cryst. Growth, 309 (2007) 145.
- [4] T. Nakai, O. Maida, and T. Ito: Appl. Surf. Sci., (2008) in press.
- [5] H. Matsubara, Y. Saitoh, O. Maida, T. Teraji, K. Kobayashi, and T. Ito: Diamond Relat. Mater., 16 (2007) 1044.
- [6] H. Miyatake, K. Arima, O. Maida, T. Teraji, and T. Ito: Diamond Relat. Mater., 16 (2007) 679.
- [7] T. Nakai, K. Arima, O. Maida, and T. Ito: J. Cryst. Growth, 309 (2007) 134.
- [8] T. Teraji, S. Yoshizaki, H. Wada, M. Hamada, and T. Ito: Diamond Relat. Mater., 13 (2004) 858.
- [9] 特開2005-260008: 「放射線検出器およびその製造方法」.