

新しいn型ダイヤモンド半導体の合成

ダイヤモンド電子デバイス実現への道を拓く

産総研は、マイクロ波プラズマ化学気相合成法を用いて、(001)面ダイヤモンド基板上にn型ダイヤモンド半導体を合成することに世界で初めて成功した。これは、電子デバイス開発のボトルネックとなっていた基板面方位の制約をなくす、重要な成果である。さらに、この(001)面n型ダイヤモンド半導体を用いたp-n接合による発光素子から、紫外線の発光を確認した。

Growth of n-type diamond semiconductor on (001) diamond substrate using microwave plasma-enhanced chemical vapor deposition technique has been succeeded leading the world. This is a very significant achievement eliminating the restriction of substrate orientation, which has been a bottleneck in the development of diamond electronic devices. Furthermore, UV light emission has been observed with emitting device, which is made using p-n junction of the (001) diamond semiconductors.

ダイヤモンド半導体の可能性

ダイヤモンドは宝石として貴重であると同時に、最高の硬度、最高の熱伝導率、高い絶縁耐圧、広い光透過波長帯、高い化学的安定性などすぐれた特性を有しており、これらの特性を生かした電子デバイスへの幅広い応用が期待されている。特にパワー素子としては原理的に現行のシリコン半導体の1万5000倍、シリコンカーバイド半導体の10倍の性能が期待できる。また、発光素子としては、235 nmの紫外光を発することができる。このため、国内外の研究機関でダイヤモンド半導体を利用した電子デバイスの実用化の研究が進められている。

(001)面におけるn型半導体合成技術の開発

ダイヤモンドを電子デバイスに応用する際、他の半導体と同様にp型とn型の半導体合成技術の開発が不可欠である。すでに、p型ダイヤモンド半導体はホウ素をドーピングすることで、ダイヤモンドの基板面方位に制約されることなく合成が可能となっている。しかし、n型ダイヤモンド半導体の合成は、極めて困難とされており、これまで(111)面上では成功していたが、(001)面上では合成されていなかった。これは、n型ダイヤモンド半導体を用いたデバイス開発において、1つのボトルネックとなっている。ダイヤモンド

加藤 宙光 Hiromitsu Kato
hiromitsu.kato@aist.go.jp
ダイヤモンド研究センター
材料プロセス研究チーム 研究員

マイクロ波プラズマを用いた化学気相合成法によるダイヤモンド半導体のn型伝導制御技術の開発に従事。ダイヤモンド半導体における不純物ドーピング機構を解明すべく、気相反応や表面反応の詳細を固体物性学的見地から追う。その他、紫外線発光、電子線放出など、実用化へ向けた電子デバイス開発にも積極的に取り組む。

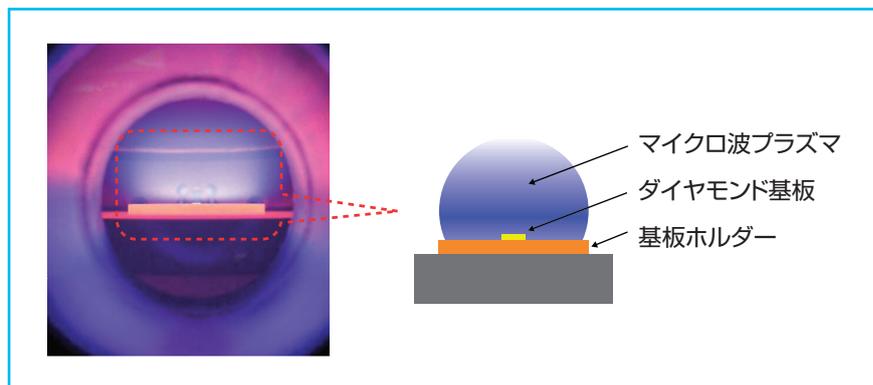


図1 ダイヤモンドのマイクロ波プラズマ化学気相合成

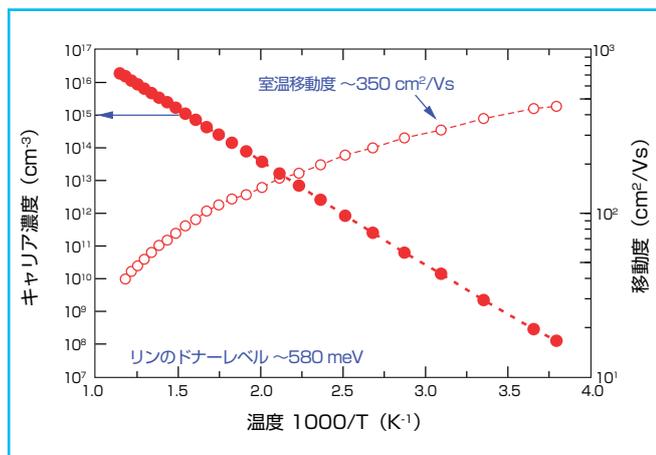


図2 ホール効果測定結果

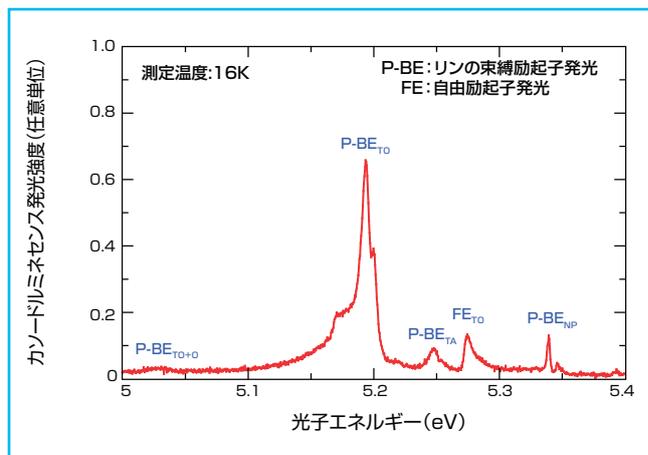


図3 カソードルミネセンススペクトル

ドの(111)面は、(001)面に比べ、非常に硬く、機械的研磨が困難であり、平坦な基板を得ることができないこと、さらに、基板の大面积化が、(001)面に比べ困難なことが、その理由として挙げられる。基板の平坦化や大面积化は、デバイスを作製する際に重要なパターニング、エッチングといった微細加工に直接関わるだけでなく、製品化する場合のコストにも大きな影響を及ぼす。こういったことから、(001)面上でのn型半導体の合成は極めて重要な課題である。

ダイヤモンド半導体の合成は、水素ガスで希釈したメタンを原料ガスとしマイクロ波プラズマ化学気相合成法を用いて行う。マイクロ波により反応しやすい状態まで分解された原料ガスは、基板の表面との化学反応により、ダイヤモンドへと成長していく(図1)。理論上、これにリン原子をドーピングすることでn型半導体合成は可能となるが、(001)面においては経験的に不可能であった。本研究では、「不純物取り込みと合成速度」や「補償欠陥生成と合成速度」の関係を十分に理解し、合成条件の最適化を図った。即ち、ある程度の合成速度を保てる条件のもとで、従来、数百ppmであった気相中の

リン濃度を数%と極めて高くすることにより、(001)面上でのn型ダイヤモンド半導体の合成に成功した。さらに、この成功を受けて(001)面における良好なp-n接合による紫外線発光素子を試作したところ、波長235nmの紫外線発光を確認できた。

n型半導体の性能評価

n型ダイヤモンド半導体の性能評価はホール効果測定により行った。その結果、室温から700℃程度までの間で安定してn型判定が得られており、得られたダイヤモンドがn型半導体であることを確認した。また、室温における電子の流れやすさを示す移動度は、 $\sim 350 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度であり、リン濃度がほぼ等しい(111)面n型ダイヤモンド半導体で得られる値に匹敵する(図2)。この時の半導体膜内に取り込まれたり

ン濃度は 1 cm^3 当たり 2×10^{18} 程度と見積もられ、深さ方向の分布はほぼ均一であった。さらに、カソードルミネセンス測定から、自由励起子発光(FE)の他に、リンの束縛励起子(P-BE)に起因する発光ピークが明瞭に観測できる(図3)。このように、リン原子がダイヤモンド格子の置換位置に取り込まれ、ドナーとして活性であることが、電氣的、光学的測定より明らかとなった。

今後の展開

さらなる高品質化を図り、より抵抗の低い(001)面n型ダイヤモンド半導体を合成することが、実用化への必須課題である。合成条件の最適化はもとより、新しい気相合成装置の開発を含めた総合的な取り組みを行っていく。

関連情報:

- H. Kato, S. Yamasaki, Y. Okushi: Appl. Phys. Lett. 86 (2005) 222111.
- 日刊工業新聞 (2005年5月10日)
- 日経産業新聞 (2005年5月11日)
- 特願 2005-027181 「リン原子がドーピングされたn形(100)面方位ダイヤモンド半導体単結晶膜及びその製造方法」
- プレス発表, 平成17年5月9日: http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2005/pr20050509/pr20050509.html