

# MBE 法による 3C-SiC/Si 基板上への高品質 InN エピ膜の作製

Growth of High-quality InN Films on 3C-SiC/Si Substrates by Molecular Beam Epitaxy

プロジェクト代表者：吉田貞史（理工学研究科 教授）

Sadafumi Yoshida (Graduate School of Science and Engineering, Professor)

## 1. 研究背景と研究目的

窒化物半導体 AlN, GaN, InN は、GaAs, InP 等の従来の III-V 族化合物半導体にはない様々な特徴を持ち、発光デバイスや高周波パワーデバイス用材料として注目され、すでに GaN, AlN を中心に、発光素子、高周波パワー素子等で大きな応用分野を形成しつつある。これらに対して InN は、窒化物半導体の中でもっとも移動度が大きいことや、光通信に用いられる発光波長帯をカバーできるなどの特徴を持ちながら、その応用展開が遅れている。その原因はデバイス作製用の高品質単結晶膜が得られていないことである。その理由は、InN に格子整合する基板がないこと、および、結晶の分解温度が低く、基板温度を上げて成長できないことである。

窒化物半導体は六方晶ウルツ鉱型と立方晶閃亜鉛鉱型の結晶形をとるが、前者が安定相であり、発光素子、高周波素子に用いられている。しかし、立方晶系結晶は、結晶対称性が高いので、六方晶系結晶より移動度が大きいことやドーピング特性に優れていることが予測されているばかりでなく、六方晶で大きな問題となっている自発分極、piezo分極による影響を受けないという大きなメリットがある。しかし、立方晶結晶は準安定相であるため、結晶に六方晶が混じるなど、高品質化が困難で、その開発研究が大幅に遅れている。

我々は、従来用いられてきたサファイア基板に対して、六方晶 InN との格子整合が優れていること、および立方晶 GaN を中間層に用いれば立方晶 InN 成長も可能な 3C-SiC(001)面を基板に用いること、およびプラズマ窒素源を用いる RF-MBE 成長技術を開発し、六方晶および立方晶 InN 膜をエピタキシャル成長の研究を行い、3C-SiC 結晶基板の優位性を明らかにしてきた。本プロジェクトでは、Hot-Cathode CVD 法による原子オーダーで平坦な表面を持つ 3C-SiC のヘテロエピタキシャル成長の技術を持つ神奈川県産業研究センターと連携して、本提案者の減圧 CVD 法によるシングルドメイン 3C-SiC 結晶成長の経験を生かして Hot-Cathode CVD 法成長膜の 3C-SiC 結晶のシングルドメイン化を達成することにより、その上に成長させる六方晶および立方晶 InN 単結晶膜の高品質化を図ることを本プロジェクトの目的とした。

## 2. 研究の遂行とその成果

高品質の InN のエピタキシャル成長膜を得るためのキーである基板となるシングルドメイン 3C-SiC のヘテロエピタキシャル成長を神奈川県産業技術センターで、その上の InN のヘテロエピタキシャル成長を埼玉大学で行った。

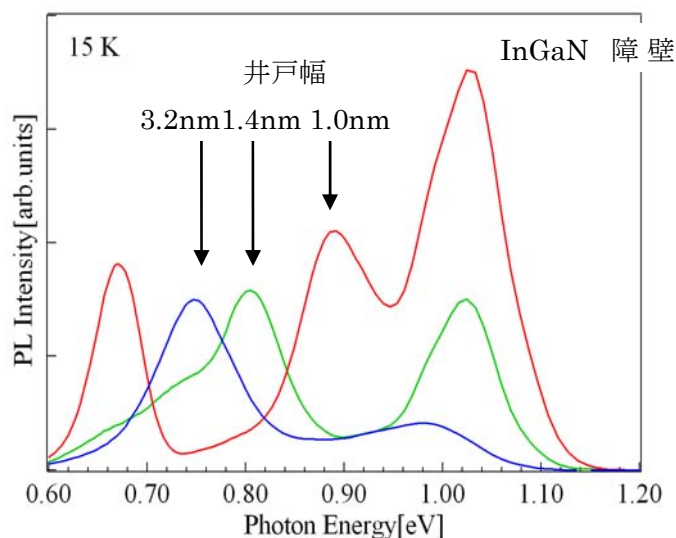
神奈川県産業技術センターでは原子オーダーで平坦な 3C-SiC が得られる Hot-Cathode CVD 法を用いて Si(001)基板上へのシングルドメイン 3C-SiC の成長条件を探索し、減圧下で厚さ 5 $\mu$ m 以上の厚膜を成長させることによってドメインサイズを大幅に拡大させることに成功した。しかし、圧力を下げすぎると表面に異常結晶が成長し、表面荒れを起こすことが分かり、最適圧力があることが分かった。このため、完全なシングルドメインの膜を得るまでには至らなかった。しかし、

ドメインサイズは光学特性を支配するキャリアの広がりよりも十分大きいので、発光特性にはドメイン境界無しの効果が期待される。

埼玉大学では上記 3C-SiC エピ膜を基板として、RF-MBE 法により六方晶 InN エピ膜成長条件の最適化を図り、バッファ層の堆積温度や堆積膜厚を最適化することにより高品質 InN エピ膜を得ることができた。さらに、この InN エピ膜上に InN/InGaN 量子井戸構造を作製することを試みた。X 線回折測定で設計通りの量子井戸構造ができていることを確認すると共に、量子井戸からの 1~1.5 $\mu\text{m}$  帯のフォトルミネッセンスの観測に成功した。発光波長の井戸幅依存より、発光が量子井戸からのものであることを確認した (図 1)。この波長域は光通信に使われる波長であり、光通信用発光、受光素子の可能性を示唆するものである。

また、3C-SiC 上に立方晶 GaN を成長させ、その上に InN を成長させることによって立方晶 InN を成長させることができることを示した。フォトルミネッセンス測定により立方晶 InN のバンド端発光と思われる発光ピークを初めて観測し、立方晶 InN のバンドギャップが六方晶 InN よりも 0.2eV ほど小さい 0.4eV 程度であることを世界で初めて見いだした。

図 1. Si 上にヘテロエピタキシャル成長させた 3C-SiC を基板として作製した InN/InGaN 量子井戸構造のフォトルミネッセンススペクトル (15K)



### 3. 成果の発表

- 1) S.Hirano, T.Inoue, G.Shikata, M.Orihara, Y.Hijikata, H.yaguchi, and S.Yoshida, "RF-MBE growth of InN/InGaN quantum well structures on 3C-SiC substrates", 14th Intern. Conf. on Molecular Beam Epitaxy (Tokyo, 2006.9.3-8)
- 2) G.Shikata, S.Hirano, T.Inoue, M.Orihara, Y.Hijikata, H.yaguchi, and S.Yoshida, "RF-MBE growth of a-plane InN on r-plane sapphire with a GaN underlayer" 14th Intern. Conf. on Molecular Beam Epitaxy (Tokyo, 2006.9.3-8)
- 3) 井上 赴、平野 茂、折原 操、土方 泰斗、矢口 裕之、吉田 貞史、第 67 回応用物理学会学術講演会 (2006.8.29, 大津)
- 4) 四方 剛、平野 茂、ファリズ・アブドウルラーシッド、平山 秀樹、折原 操、土方 泰斗、矢口 裕之、吉田 貞史、第 54 回応用物理学連合学術講演会 (2007.3.30、相模原)
- 5) 平野 茂、四方 剛、井上 赴、塚越 裕介、折原 操、土方 泰斗、矢口 裕之、吉田 貞史、第 54 回応用物理学連合学術講演会 (2007.3.30、相模原)
- 6) 折原 操、平野 茂、四方 剛、井上 赴、塚越 裕介、土方 泰斗、矢口 裕之、吉田 貞史、第 54 回応用物理学連合学術講演会 (2007.3.30、相模原)