

GaAs(001) 面上窒素 δ ドープ層形成過程の RHEED 解析 (3)RHEED Analysis for the formation process of Nitrogen δ -doped layer on GaAs (001) (3)阪大院工¹, 愛媛大院理工², ○西本 徳久¹, 近藤 正彦¹, 石川 史太郎²Graduate School of Engineering, Osaka University¹,Department of Electrical and Electronic Engineering, Ehime University²,○Norihisa Nishimoto¹, Masahiko Kondow¹, Fumitaro Ishikawa²

E-mail: nishimoto@e3.eei.eng.osaka-u.ac.jp

希釈窒化物半導体は, GaAs などホスト結晶へ数% 程度の窒素を導入することでバンド構造を大きく変調することが可能であり, その特異な歪特性などから高効率太陽電池等の半導体デバイス構成材料として期待される. 我々は, 窒素デルタドープによる局所導入構造においても同様のバンド変調を行えることを見出しており, 既存の混晶材料の枠組みに無いバンド制御を可能にする基礎材料として, その有望性を検討している. 詳細な結晶特性の評価には, 精度の高い結晶成長技術の確立や成長過程の理解が必要であるため, GaAs (001) 面上への窒素デルタドープ層構造形成時の表面状態について, 反射高速電子回折 (RHEED) を用いて検討を行った.

結晶成長は, プラズマ支援分子線エピタキシー (MBE) 法を用いて行った. 成長基板温度は 430°C に設定し, GaAs 成長後, As₂ 照射下の成長中断時に窒素プラズマを照射することで, 窒素のデルタドープを行った. 導入した窒素は, 1 原子層 (ML) である. その後, 同層上に GaAs を再成長することで, GaAs/窒素デルタドープ層/GaAs 構造を形成した. また, その間の構造形成過程を RHEED を用いて [110] 方向から観察し, その表面状態について調べた.

下部 GaAs 成長中は, V 族元素過剰を示す c(4×4) パターンが不明瞭であったが, 窒素導入直後に明瞭な c(4×4) パターンへと変化した. また, この窒素導入初期では, 逆格子ロッドの幅 (Width) の激しい縮小が見られた. 発光波長の大きな長波長化も生じることから [3], 窒素導入初期では, 窒素は GaAs 表面層に積極的に取り込まれ, 平坦性の高い窒素含有表面が形成されていると推察できる. その後はロッド幅縮小の時間変化が緩やかになり, RHEED パターンは窒素導入時安定表面を示す, 3×パターンへと変化していった. 1 ML の窒素をデルタドープ後, 上部 GaAs 成長を開始すると, 表面荒れの発生を表すスポットパターンが観測された. Figure2 に上部 GaAs 成長時, 2 つの回折スポット間距離 (Spacing) の時間変化を示す. スポット間距離は, GaAs 成長開始直後に減少し, その後は増加, そして再度減少しつつ収束していくという傾向が見られた. このスポット間距離が極小, 極大となる時について, Fig.3 に上部 GaAs の成長速度との関係性をまとめた. 図のように, スポット間距離は上部 GaAs の成長速度に依存せず, 約 0.4 ML 導入時に極小, 約 1.8 ML 導入時に極大となることがわかった. これは, 上部 GaAs 成長後の表面実格子において, 約 0.4 ML 導入までは格子定数が拡大し, その後 1.8 ML 導入まで縮小, そして GaAs の格子定数へと収束していく事を示す. よって, 窒素デルタドープ層上, 上部 GaAs 成長直後に発生する表面荒れは, こうした格子定数の大きな変化に起因した現象であることが示唆された.

[1] 西本徳久, 他, 春季第 59 回応用物理学会学術講演会 (2012, 東京), 17a-A8-8.

[2] 西本徳久, 他, 秋季第 73 回応用物理学会学術講演会 (2012, 愛媛), 11p-J-9

[3] S. Furuse et. al, J. Vac. Sci. Technol. B 30, 02B117 (2012)

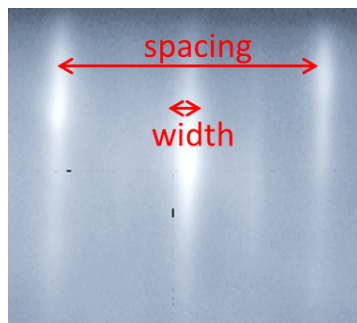
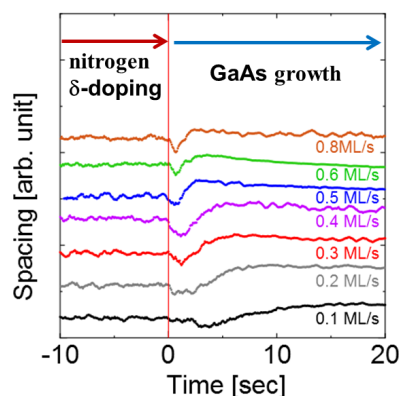
Fig. 1: c(4×4) pattern along [110] during 0.03 ML nitrogen δ -doping.

Fig. 2: Diffraction spot spacing as a function of time.

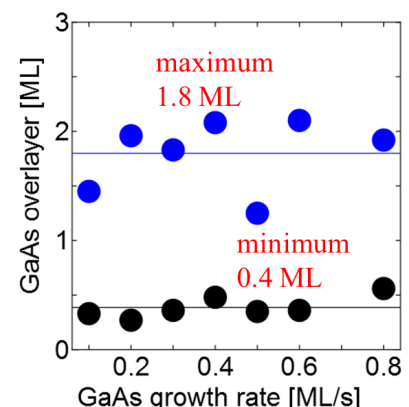


Fig. 3: Growth rate dependence of growth thickness of GaAs until maximum and minimum diffraction spot spacing on the growth of upper GaAs overlayer.