平成 16 年 3 月　17　日

氏名　　太田　実雄

２１世紀ＣＯＥプログラム

拠点：大学院工学系研究科
応用化学専攻、化学システム工学専攻、
化学生命工学専攻、マテリアル工学専攻

“化学を基盤とするヒューマンマテリアル創成”

平成１５年度リサーチ・アシスタント報告書

ふりがな 氏　　名	おおた　じつお 太田　実雄	生　年　月　日
所属機関名	東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻	
所　在　地	〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1	
申請時点での 学　　年	博士課程 2 年	
研究題目	レーザーアブレーション法によるIII族窒化物薄膜の作製と評価	
指導教官の所属・氏名	東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻 尾嶋　正治	

氏　　名　　太田　実雄

I　研究の成果　（1000 字程度）

（図表も含めて分かりやすく記入のこと）

GaN 系Ⅲ族窒化物半導体薄膜(AlN, GaN, InN)は 0.7eV～6.2eV の直接遷移型バンドギャップを有していることから光・電子デバイスへの応用が期待されており、活発な研究開発が展開されている。しかしながら、窒化物半導体薄膜の作製は高温・高反応性雰囲気という条件下で行われるため、下地となる基板表面の窒化反応、高温による基板の劣化、熱膨張係数の違いによる応力の発生、複雑な界面構造のために詳細な薄膜成長メカニズムが不明、などの様々な問題がある。これらの問題点を解決するためには、格子整合基板の使用、および低温成長が必要である。本研究では、Ⅲ族窒化物薄膜成長に pulsed laser deposition (PLD)法を用いており、これまでの研究成果から PLD 法は他の成長手法に比べ、急峻な界面構造の形成や低温エピタキシャル成長が可能であり、さらに成長用基板材料が限定されない、という特徴を持つことが明らかとなっている。本研究では、これらの PLD 成長における特徴を利用することによって、GaN 薄膜の成長メカニズムの詳細な解明、および高品質InN薄膜作製を目的とした。

Al 終端構造を持つサファイア基板上へ stoichiometric GaN、Ga-rich GaN、stoichiometric AlN をバッファー層として挿入し、GaN 薄膜成長を行った。その結果、GaN の極性は Al-rich AlN バッファー層を用いた場合にのみ Ga 極性になることが明らかとなった。また、面内配向関係は全ての実験において[10-10]nitride // [11-20] sapphire であった。密度汎関数法を用いた第一原理計算により、Al, Ga, N の各原子のサファイア表面上における最安定点を計算したところ、実験結果で得られた面内配向関係をよく説明できることが分かった。このことから、ヘテロエピタキシャル成長における面内配向関係では、成長初期での原子の安定位置が大きな影響を持っていると考えられる。また、各原子について最安定なサイトと他のサイトとのエネルギー差からサファイア上第一層に吸着する原子種を考察したところ、stoichiometric GaN、Ga-rich GaN、stoichiometric AlN では N 原子が第一層に吸着するのに対し、Al-rich AlN では Al 原子が優先的に吸着することが示された。さらに第二層目吸着原子の安定位置の計算結果から、図１に示すように、GaN 薄膜の極性変化はサファイア表面第一層における吸着原子種が N 原子から Al 原子に変わることにより説明できることを見出した。

InN 薄膜の成長ではサファイア基板の表面処理によって InN 薄膜の濡れ性が向上し、結晶性、表面構造、電気特性が共に改善されることが明らかになった。さらに、InN との格子不整合が約 2%と小さいフェライト基板を用いて成長を行った結果、室温でもエピタキシャル成長することを見出した。このことから、低温で良質な InN 薄膜の作製が可能であることが明らかになった。

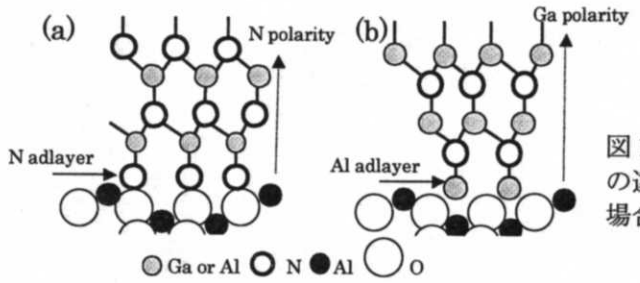

図１サファイア表面第一層の吸着原子種の違いによる極性の変化　(a) N 吸着の場合、(b) Al 吸着の場合。

氏　　名　　太田　実雄

II（1）　学術雑誌等に発表した論文A（掲載を決定されたものを含む.）

共著の場合、申請者の役割を記載すること.

（著者、題名、掲載誌名、年月、巻号、頁を記入）

1. J. Ohta, H. Fujioka, M. Oshima, K. Fujiwara, and A. Ishii, "Experimental and theoretical investigation on the structural properties of GaN grown on sapphire", *Applied Physics Letters 83 (2003) 3075.*

2. J. Ohta, H. Fujioka, and M. Oshima, "Room-temperature Epitaxial Growth of GaN on Conductive Substrates", *Applied Physics Letters 83 (2003) 3060.*

3. J Ohta, H. Fujioka, and M. Oshima, "Growth temperature dependence of structural properties for AlN films grown on (Mn,Zn)Fe_2O_4 substrates", *Thin Solid Films 435 (2003) 218.*

4. A. Kobayashi, H. Fujioka, J. Ohta, and M. Oshima, "Room temperature layer-by-layer growth of GaN", *Jpn. J. Appl. Phys. 43 (2004) L53.*

5. H. Takahashi, H. Fujioka, J. Ohta, M. Oshima, and M. Kimura, "Structural Properties of GaN Grown on $LiGaO_2$ by PLD", *J. Cryst. Growth 259 (2003) 36.*

6. K. Hirato, H. Fujioka, S. Ito, J. Ohta and M. Oshima, "Characteristics of AlN buffer layers for GaAs epitaxial growths on MnZn ferrite substrates", *Thin Solid Films 435 (2003) 131.*

7. S. Ito, H. Fujioka, J. Ohta, H. Takahashi and M. Oshima, "Growth of AlN on lattice-matched MnO substrates by pulsed laser deposition", *Thin Solid Films 435 (2003) 215.*

8. J. Ohta, T. Honke, H. Fujioka, and M. Oshima, "Epitaxial growth of InN on c-plane sapphire by pulsed laser deposition with RF nitrogen radical source", *Thin Solid Films, in press.*

First author の論文は本人が中心的な役割を担って進めた研究である。共著論文に関する研究では、ディスカッションや共同的な実験を行ったものである。

氏　　名

II（2）学会において申請者が口頭発表もしくはポスター発表した論文

（共同研究者（全員の氏名）、題名、発表した学会名、場所、年月を記載）

1. 太田実雄、本家尚志、小林篤、藤岡　洋、尾嶋正治
「フェライト基板上への InN 薄膜成長」
平成 16 年春季応用物理学会、東京工科大学、2004 年 3 月

2. 太田実雄、本家尚志、藤岡　洋、尾嶋正治
「PLD 法によるサファイア基板上への InN 薄膜成長」
平成 15 年秋季応用物理学会、福岡大学、2003 年 9 月

3. 太田実雄、藤原勝敏、藤岡　洋、尾嶋正治、石井晃
「サファイア基板上 GaN 薄膜の成長メカニズム」
平成 15 年秋季応用物理学会、福岡大学、2003 年 9 月

4. 太田実雄、本家尚志、藤岡　洋、尾嶋正治
"InN growth on c-plane sapphire substrate by pulsed laser deposition"
16th Symposium on plasma science for materials, Tokyo, Japan, June 2003.

5. 太田実雄、藤岡　洋、尾嶋正治
"Low-temperature epitaxial growth of group III nitrides"
Internaltional conference on nitride semiconductors, Nara, Japan, July 2003.