

● 次世代レーザーデバイスの開発

GaNAsは、そのバンドギャップと格子定数の可変性から、GaAs基板上に成長可能な安価で高性能な次世代長波長半導体レーザー基礎材料として期待されている。プラズマ支援分子線エピタキシー(MBE)法が多くその成長に用いられるが、高品質結晶の成長には未だ問題がある。その中の一つとして、Alセルを装備したMBEでは意図しないAlの混入が発生し、その結果、結晶品質やそれに伴うレーザー特性の劣化が発生することが報告されている。本報告では、その混入および伴って発生する結晶劣化の原因を研究したので紹介する。

1. はじめに

光ファイバー通信に使われている半導体レーザーは、10G(ギガ)bps程度の速度までしか動作しない。幹線系では、発光波長の異なるレーザーを複数使用して大容量の通信を実現しているが、その技術はとも高価で私たちのパソコンで用いるLAN(ラン)系には使用できない。ムーアの法則によると、RAM(メモリー容量)が大きくなるとCPU(データ処理装置)も速くなり、それに伴って通信速度も速くなる。しかし、現時点では技術的な壁にぶつかっており、実質的に2,000年の頃とあまり変わっていない。このような背景のもと、我々は次世代の超高速インターネットのための技術革新を目指し、GaNAsとフォトニクス結晶を組み合わせた超高速レーザーデバイスの研究を行っている。以下、GaNAs結晶の高品質化について紹介する。

2. 研究背景

GaNAsは、そのバンドギャップと格子定数の可変性から、GaAs基板上に成長可能な安価で高性能な次世代長波長半導体レーザー基礎材料として期待されている。プラズマ支援分子線エピタキシー(MBE)法が多くその成長に用いられるが、高品質結晶の成長には未だ問題が多い。その中の一つとして、Alセルを装備したMBEでは意図しないAlの混入が発生し、その結果、結晶品質やそれに伴うレーザー特性の劣化が発生することが報告されている。それを避けるための手段として、希釈窒化物の成長を行うMBEチャンバーにAlを装着しないことで良好なレーザー特性を得た例は幾つか報告されるものの、その混入および伴って発生する結晶劣化の原因は未だ把握されておらず、その解明が求められて

いる。

本研究では、2次イオン質量分析法(SIMS)を用いて、GaNAs成長層に含まれるN, Al, CおよびOの濃度分布を詳細に検討して、それらに対してプラズマセルの操作が与える影響について議論を行った。そして、特に希釈窒化物MBE成長時に発生するAl混入の起因について検討した。

3. 実験と考察

窒素を導入して成長を行うと、Alセルから放出される分子線量に比例した量のAlが、結晶に取り込まれた。詳細に検討を行ったところ、結晶に混入するAl濃度 n_{Al} は、Al蒸気圧 P_{Al} と、窒素分圧 P_{N_2} に依存し、 $n_{Al} \propto P_{Al} / P_{N_2}$ の関係にあることがわかった^[1]。

以上の結果から、考えうるAl混入のメカニズムについて、粒子の散乱を考えたモデルによる検討を行った。モデル化にあたり、MBEのセルおよび基板の空間配位について、図1のように定義した。そして、以下の状況を仮定し、単純化したモデルを構築した。(i) AlとN₂分子が衝突する。(ii) 散乱したそれら分子が、ある確率で基板に向かう。ここでは衝突の状況を単純化するため、それぞれの分子は球状・等方的に散乱すると考える。(iii) 再度分子が衝突する多重散乱の影響は考えず、単散乱場であるとする。これらを仮定すると、衝突速度 R 、および、基板への到達フラックス F の計算を解析的に行うことができる。計算について詳しくは、成果[1]中に示した。

ここでは計算結果を、図2および図3に示す。

図2より、セルのシャッターが開いている場合、AlとN₂の分子間の衝突は、セル近傍、および、成長基板周辺で多く発生していることがわかった。また、散乱による不純物混入が発生する場合、これら

が支配的要因になることが示唆される。Alセルのシャッターが閉じた状態をシミュレートするため、図2(c)に示した θ_S から θ_B までの領域について空間的に積分し、基板に到達するAlフラックスを見積もった。その結果を図3に示す。上で得られた $nAl \propto PAI$ PNの関係性を完全に再現することに成功し、その誤差はおよそ一桁以内であった。この結果は、用いたモデルの妥当性を示すものである。またこの結果は、非常に高圧・安定なN₂を用いるプラズマ支援分子線エピタキシーにおいては、N₂ガスが引き起こす分子の散乱によって、結晶の純度が損なわれる可能性を示している。また、化学的に活性なAlが散乱された場合の不純物の混入への影響について検討した。Alが系に存在する場合、CおよびOの混入が促進された。従って、高品質な結晶成長を行う場合、Alセルの温度を極力低減すれば、その混入量が抑制されるだけでなく、伴って発生するC、Oの混入も抑制できることがわかった。

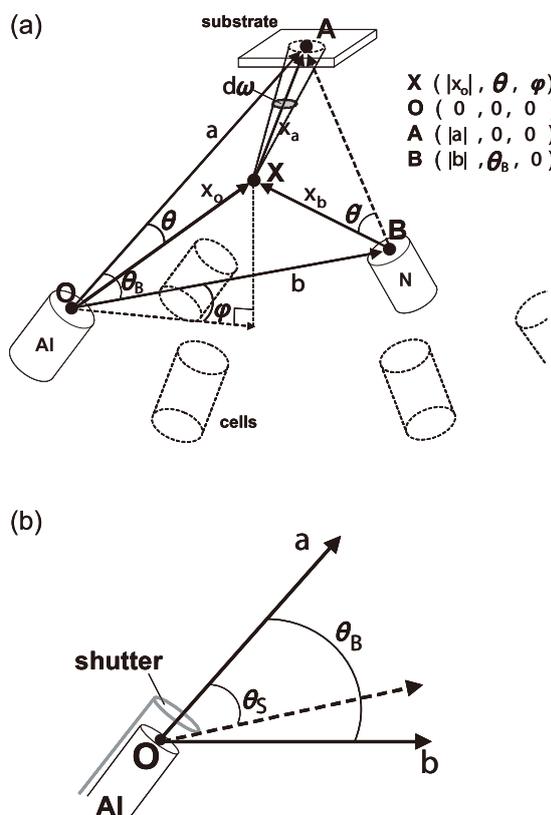


図1. Cells and substrate configurations of the MBE system. Vectors, angles, and a solid angle described in the text are defined here. (a) An overview and (b) the detail around Al cell

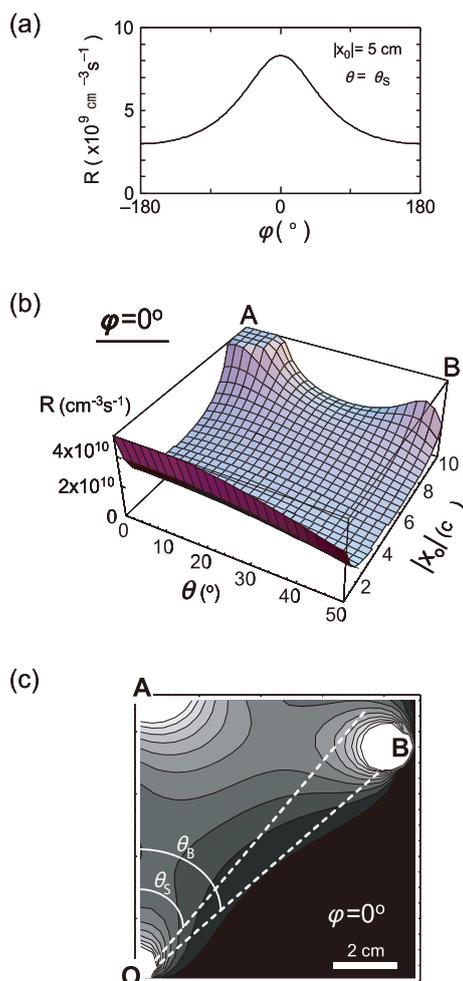


図2. Collision rate R calculated using eq. (6). (a) φ dependence at $|x_0| = 5 \text{ cm}$ and $\theta = \theta_B$. (b) $|x_0|$ and θ dependence at $\varphi = 0^\circ$ and (c) its Cartesian plot: lighter regions show higher values of the function.

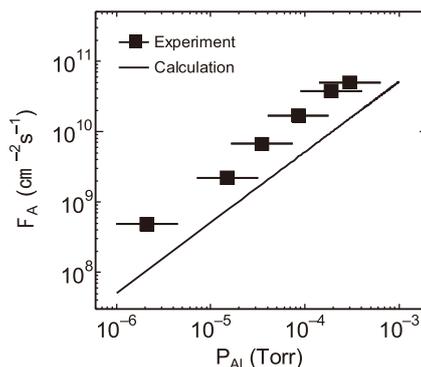


図3. Calculated Al flux impinging on the substrate.

参考文献

[1] "Unintentional source incorporation in plasma-assisted molecular beam epitaxy", F. Ishikawa, S.D. Wu, M. Kato, M. Uchiyama, K. Higashi and M. Kondow, Jpn. J. Appl. Phys., 48 (2009) 125501.