

AlGaN 系透明結晶の欠陥と電気特性の制御

Control of defects and electrical properties in AlGaN transparent crystals

東京大学生産技術研究所

○藤岡 洋, 上野 耕平, 小林 篤

Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

○Hiroshi Fujioka, Kohei Ueno, Atsushi Kobayashi

E-mail: hfujioka@iis.u-tokyo.ne.jp

Al_xGa_{1-x}N 系透明結晶の成長は、Al 組成の増大に伴い補償欠陥が生成しやすくなり、電氣的に優れた結晶の成長が困難となることが知られている。これまで、一般に、品質の高い結晶を得るためには平衡に近い反応条件を用いるのが良いと考えられてきた。しかしながら、平衡付近での結晶成長では補償点欠陥の導入は避けることができない。そこで、本研究では、発想を逆転させ、非平衡性の極めて高い合成条件を用いて、近平衡下では実現できない高品質結晶の実現を考えた。具体的にはプラズマを間歇的に発生させるパルススパッタリング(PSD)法[1-2]を用いて真空紫外線照射下、低温成長での結晶合成の条件を調べた。最近、外部からエネルギーを加えることによって成長中の欠陥の擬フェルミレベル(dQFL; defect quasi-Fermi level)を制御すれば欠陥の濃度を減少させることができるのではとの提案が注目を集めている。[3] この概念を今回の窒化物半導体のプラズマ成長に当てはめてみる。欠陥の擬フェルミレベル E_{FX} は下記の式によって定義される。

$$E_{FX} = \frac{E_{Fn} + E_{Fp}}{2} + kT \ln \left\{ \frac{c_n \exp\left(\frac{E_X + E_{Fn} - 2E_i}{2kT}\right) + c_p \exp\left(-\frac{E_X + E_{Fn} - 2E_i}{2kT}\right)}{c_n \exp\left(\frac{E_X + E_{Fp} - 2E_i}{2kT}\right) + c_p \exp\left(-\frac{E_X + E_{Fp} - 2E_i}{2kT}\right)} \right\}$$

ここで E_{Fn} と E_{Fp} は電子と正孔の擬フェルミレベル、 E_X , c_n , c_p はそれぞれ、欠陥のエネルギーレベル、電子捕獲係数、正孔捕獲係数である。この定義式からわかるように、結晶成長中に光や高エネルギー粒子を照射することによって欠陥の擬フェルミレベルを平衡のフェルミレベルから大きくずらすことができる。欠陥の擬フェルミレベルは欠陥の生成エネルギーに直接関係しているため、これを制御することによって導入される欠陥の濃度を大幅に抑制できると期待される。具体的な例とし、n 型 AlGa_{0.1}N 結晶中で $E_v + 0.9\text{eV}$ の仮想的なアクセプター補償準位が導入される場合を考える。ここで励起源としてプラズマ中で期待される 0.1 W/cm^2 の真空紫外光を考えると、光照射による欠陥導入抑制効果は Al 組成に強く依存し、図 1 に示す様に Al 組成が大きい場合ほど欠陥抑制効果が大きいことがわかった。また、この抑制効果は低温ほど顕著であることもわかった。これらの見積から、真空紫外光照射による擬フェルミレベル制御の効果は低温成長技術と組み合わせると補償欠陥の低減に有効であることがわかった。実際この手法で Si ドープの AlN を成長すると $100\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ を超える高い電子移動度を持ったエピ膜がサファイア基板上に成長できることが知られている。[4]

【謝辞】本研究は JSPS 科研費 JP16H06414/JP16H06415 の助成を一部受けて行われたものである。

参考文献：1) K. Sato, *et al.*, Applied Physics Express **2**, 011003 (2009). 2) K. Ueno, *et al.*, AIP Advances **9**, 075123 (2019). 3)

P. Reddy *et al.*, Appl. Phys. Lett **111**, 152101 (2017). 4) 櫻井 悠

也他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集 11p-W541-3 (2019).

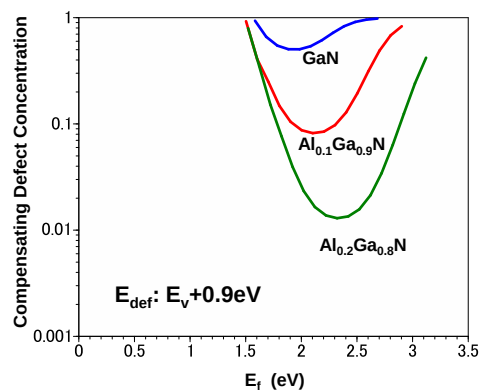


Fig. 1 Calculated compensating defect concentration as a function of E_F .