

高品質な窒化物半導体薄膜成長法

窒化物半導体はワイドギャップ半導体であり、材料の有望性から世界的に注目されている。既に青色レーザーダイオードなど光デバイスが商品化されており、更に、HEMTなどの電子デバイス応用への期待も高まっている。しかし、現状では窒化物半導体薄膜成長に適切な基板がなく、格子ミスマッチの大きい基板(サファイア、SiC、Si基板など)が使用されている。その結果、デバイスの性能と信頼性に悪影響を与える転位が高密度で($10^9\sim 10^{10}/\text{cm}^2$)薄膜中に存在しており、薄膜の表面平坦性も劣化し、デバイスプロセスに悪影響を及ぼしている。これらの問題を解決するために、表面平坦性の改善と転位低減法の開発が必要になる。

我々は、窒化物半導体電子デバイスの実用化のため、高品質なエピタキシャル成長膜(平坦な表面形態、低転位密度)作製技術の確立を軸にした研究開発を行っている。薄膜結晶の成長には窒素プラズマソース分子線エピタキシャル(rf-MBE)装置を使っている。この装置の特徴として、超高真空環境での優れた急峻な界面制御性および不純物フリーなどの利点がある。

今回、新たに開発した結晶成長法のキーポイントは微傾斜基板の選択である。これまでの窒化物半導体薄膜の成長ではサファイア(0001)ジャスト基板の使用が主流であったが、このような基板上に窒化物半導体薄膜を成長させると、得られる薄膜表面はスパイラル形状が支配的になる(図1の挿入図)。我々はサ

ファイア(0001)基板のc軸が特定な方向に微小角度($0.2\sim 2.0^\circ$ 程度)で傾斜する基板(いわゆる微傾斜基板)を使うことで、極めて平坦な窒化物半導体薄膜を実現した。図1に 0.5° 傾斜した基板上に成長したAlN表面を示す。図から分かるように直線的な単原子層ステップが表面を均一に覆い、極めて平坦な表面が得られることが分かった。

さらに 2.0° 傾斜した基板上に成長した薄膜表面ではステップバンチングが起り、マクロステップが観察される。このマクロステップの形成によって、薄膜中の転位密度が大幅に低減でき、ジャスト基板上の薄膜と比べて転位密度が一桁以上($10^8/\text{cm}^2$ 前半)低減することが分かった。

図2には、 2.0° 傾斜した基板上に成長したGaIn薄膜の断面透過電子顕微鏡のイメージを示す。図から分かるように成長中にマクロステップの横方向移動に起因した斜転位線が成長方向(まっすぐ上方向)に沿った転位線と転位線ループを作り、上部での転位密度の低減に寄与している。この転位密度低減原理に基づき、さらに低転位密度($10^7/\text{cm}^2$ 台)の薄膜が期待できる。

このように基板面方位の傾斜角度を精密に制御することにより、今まで非常に困難であった表面平坦性の改善と転位密度の低減の難題を同時に簡便に解決できた。この技術が高性能な窒化物半導体光および電子デバイスの実現に貢献できるものと期待される。

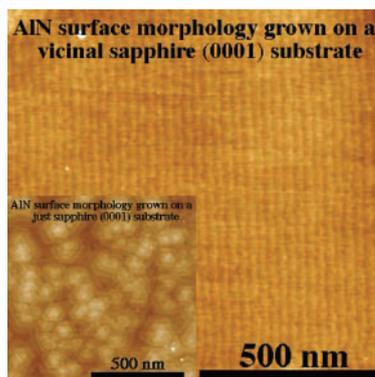


図1 0.5° 微傾斜サファイア(0001)基板上に成長したAlN表面の原子間力顕微鏡(AFM)像
直線的な単原子層ステップが表面に均一に配列していることが分かる。挿入図がジャストサファイア(0001)基板上に同条件で成長したAlNのAFM像であり、スパイラル形状がはっきり分かる。

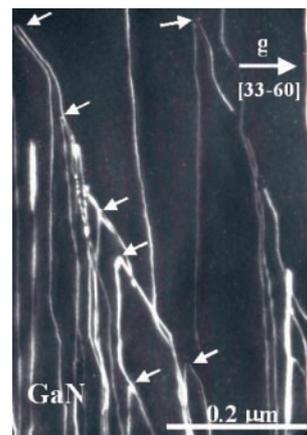
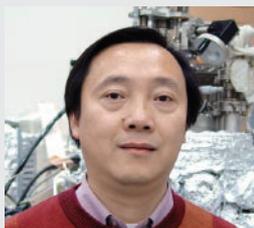


図2 2.0° 微傾斜基板上に成長したGaIn薄膜の断面透過電子顕微鏡の暗視野像
白い線が転位線であり、矢印は転位線ループを形成する場所を示す。

関連情報

- 共同研究者：奥村 元(パワーエレクトロニクス研究センター)、松畑 洋文(エレクトロニクス研究部門)。
- X.Q. Shen, M. Shimizu and H. Okumura : Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, L1293-L1295 (2003), (Express Letter) .
- X.Q. Shen, H. Matsuhata and H. Okumura : Appl. Phys. Lett., Vol. 86, 021912 (2005) .
- 特願 2003-127842 「微傾斜基板を用いた窒化物半導体薄膜素子及びその素子の製造方法」(沈旭強, 奥村 元) .
- 特願 2004-243242 「窒化物半導体デバイス及び窒化物半導体結晶成長方法」(沈旭強, 奥村 元) .



しん きょくきょう
沈 旭強
xq-shen@aist.go.jp
パワーエレクトロニクス研究センター