

高温熱処理したスパッタ AlN 膜の熱歪解析

Thermal Strain Analysis on High-Temperature-Annealed Sputtered AlN

°林侑介¹, 上杉謙次郎², 正直花奈子³, 三宅秀人^{3,4}, 藤平哲也¹, 酒井朗¹(°¹阪大院基礎工, ²三重大地域戦略, ³三重大院工, ⁴三重大院地域イノベ)°Y. Hayashi¹, K. Uesugi², K. Shojiki³, H. Miyake^{3,4}, T. Tohei¹, A. Sakai¹(°¹Grad. Sch. Eng. Sci., Osaka Univ. / ²SPORR, ³Grad. Sch. Eng., ⁴Grad. Sch. RIS, Mie Univ.)

E-mail: hayashi@ee.es.osaka-u.ac.jp

【概要】低転位密度 AlN 下地基板の作製方法としてスパッタ成膜した AlN に高温熱処理(アニール)を施すことで高品質化する技術が注目を集めている[1, 2]。1700 °C のアニールで生じる熱歪により基板の反りや残留応力、クラックの発生といった課題があるものの、歪エンジニアリングによりクラックフリー膜厚 480 nm において貫通転位密度 $2 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ が達成されている[3]。本報告では熱歪に由来する反り、応力、歪エネルギーといった指標を数値計算することでこれまでの実験結果を包括的に評価し、*in situ* 観察の難しい高温環境下の挙動を材料力学の観点から説明する。

【結果と考察】アニールの熱歪による AlN 膜/サファイア基板の変形を弾性体多層膜モデルにより解析した[4]。まず 1700 °C から室温に降温するときのバルクの熱歪を熱膨張係数の温度曲線から計算し、熱応力、曲げ応力、曲げモーメントの釣り合いから基板拘束条件での熱歪、曲率、曲げ軸を求めた。Fig. 1 に *c* 面および *a* 面サファイア(*c*-Sap, *a*-Sap)上に成膜した *c* 面 AlN(*c*-AlN)のエピタキシャル関係、曲率、応力(熱応力と曲げ応力の和)、単位面積あたりの歪エネルギーの計算結果を示す。*c*-AlN/*c*-Sap のような横等方構造では3変数からなる線形方程式を解析的に解くことができるが、*c*-AlN/*a*-Sap の場合は面内異方性を考慮すると非線形方程式になるため数値的近似解を求めている。Fig 1 にプロットした実験結果は、*c* 面および *a* 面サファイア上にチャンバ圧力 $5 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 、ヒータ温度 600 °C、RF 出力 700 W で AlN をスパッタし、1700 °C、3 h で face-to-face アニールすることにより作製した試料から測定した[3, 5]。なお *c*-AlN/*a*-Sap のエピタキシャル関係は AlN[10-10]/Sap[10-10]であることが確認されている。計算と実験の傾向が一致することから本手法がアニール処理されたスパッタ AlN 膜の解析に有用であり、さらに面内異方性のある構造にも適用できることが示された。発表当日はアニール中の挙動、特に歪エネルギー解析から予想されるクラック発生メカニズムについて述べる。

【参考文献】 [1] H. Miyake *et al.*, JCG **456** 155 (2016), [2] N. Susilo *et al.*, APL **112** 041110 (2018), [3] K. Uesugi *et al.*, APEX **12** 065501 (2019), [4] Y. Hayashi *et al.*, JCG **512** 131 (2019), [5] Y. Hayashi *et al.*, CSW2019, MoB3-7.

【謝辞】本研究の一部は、文部科学省「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」、JSPS 科研費(16H06415, 16H06423, 19K15045)の支援により行われた。

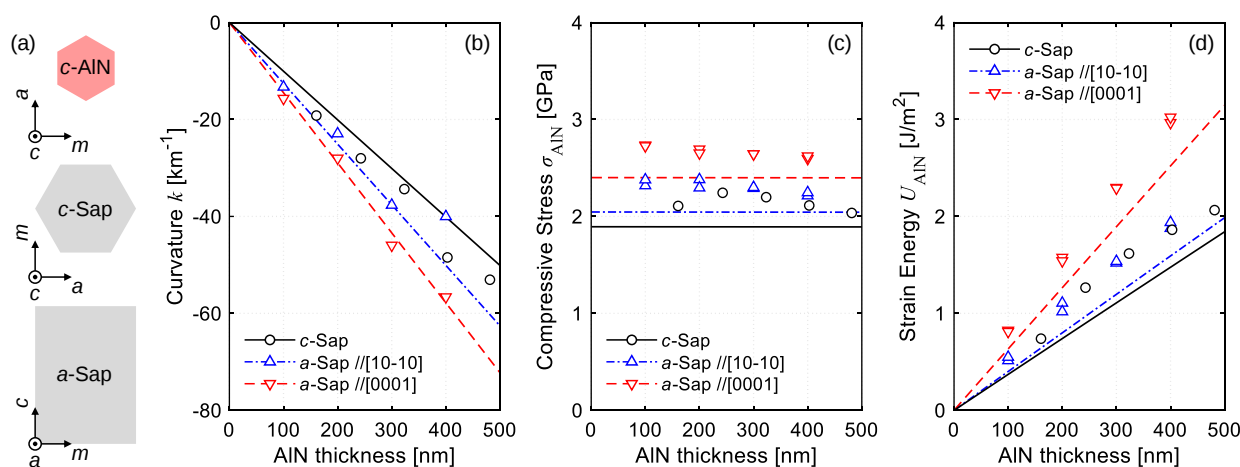


Fig. 1 (a) Epitaxial relations of *c*-AlN/*c*-Sap and *c*-AlN/*a*-Sap structures, calculation and experimental results of (b) curvature, (c) stress, and (d) strain energy per unit area.