

高温熱処理したスパッタ AlN 膜のクラック発生条件

Crack Formation Criteria for High-Temperature-Annealed Sputtered AlN

°林侑介¹, 上杉謙次郎^{2,3}, 正直花奈子⁴, 三宅秀人^{3,4}, 藤平哲也¹, 酒井朗¹

(1) 阪大院基礎工, (2) 三重大地域創生戦略企画室, (3) 三重大院地域イノベ, (4) 三重大院工)

°Y. Hayashi¹, K. Uesugi^{2,3}, K. Shojiki⁴, H. Miyake^{3,4}, T. Tohei¹, A. Sakai¹

(1) Grad. Sch. Eng. Sci., Osaka Univ. / (2) SPORR, (3) Grad. Sch. RIS, (4) Grad. Sch. Eng., Mie Univ.)

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

【概要】低転位密度 AlN 下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]。歪エンジニアリングとダブルスパッタ法によりクラックフリー膜厚 1.2 μm において貫通転位密度 $4.3 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ が達成されている[2]。1700 $^{\circ}\text{C}$ のアニールで生じる基板の反りや残留応力、クラックの発生といった課題を解決するため、膜中の歪エネルギーを数値計算し、*c* 面および *a* 面サファイア (*c*-Sap, *a*-Sap) 上に成膜した AlN においてクラックが発生する条件を解析したので報告する。

【結果と考察】実験結果は文献[1]を参照した。*c*-Sap 上にチャンバ圧力 $5 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 、ヒータ温度 600 $^{\circ}\text{C}$ 、RF 出力 700 W で AlN をスパッタし、1700 $^{\circ}\text{C}$ 、3 h で face-to-face アニールすることで試料を作製した（以後、FFA Sp-AlN と呼ぶ）。実験的にアズスパッタ AlN の *a* 軸格子定数 a_f と膜厚 t^{AlN} がクラックの有無に大きく影響することがわかっており[1]、臨界値の存在が示唆されていた (Fig. 1(a))。グリフィス理論から引張応力下において膜中に蓄積された歪エネルギー U が臨界歪エネルギー U^* を上回ったときに Mode-I クラックが伸展すると仮定すると、引張方向に熱応力が生じる昇温時に $U > U^*$ が満たされてクラックが発生するものと考えられる。面内異方性を考慮した弾性多層膜モデル[3]を使用して *c*-Sap、*a*-Sap 上 FFA Sp-AlN のクラック発生条件を計算した結果を Figs. 1(a), (b) に示す。先行研究から $U^* = 1.2, 2.3 \text{ J/m}^2$ [4,5] を参照してクラック発生条件を計算して実験結果と重ね合わせると、実験結果の境界よりクラック無し側にシフトすることがわかった。そこで実際の境界に沿うようにフィッティングすると $U^* = 3.3 \text{ J/m}^2$ が導かれた。今回の計算モデルは昇温中の歪緩和を考慮していないため U を過大評価した結果、文献値よりも大きな U^* が要求されたものと考えられる。高温アニールによる AlN の転位低減は空孔芯拡散による転位上昇モデルで説明できることが報告されているため[6]、今後は歪緩和・クラック発生との関係性について検討を進める。

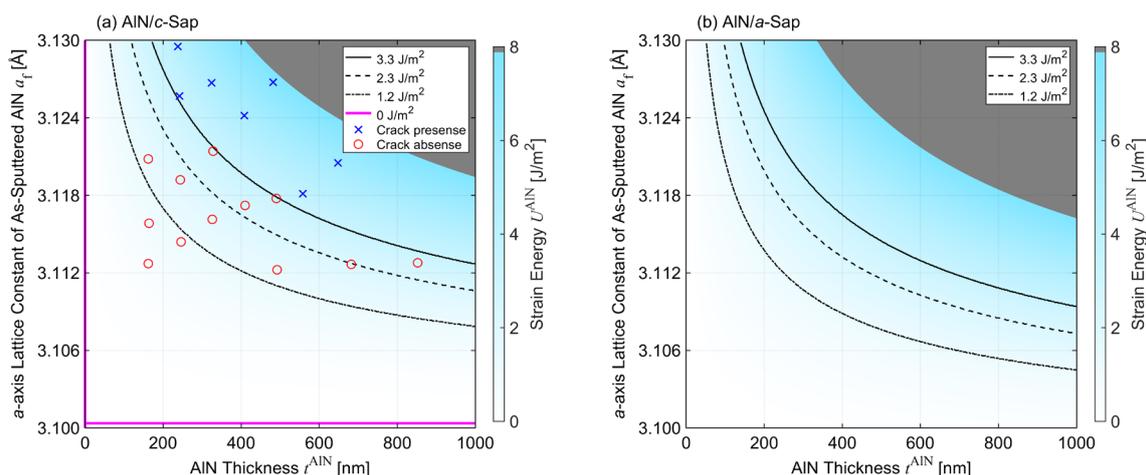


Fig. 1. Strain-energy maps for varying AlN thicknesses and *a*-axis lattice constants of as-sputtered AlN for (a) AlN/*c*-Sap and (b) AlN/*a*-Sap.

【参考文献】 [1] K. Uesugi *et al.*, APEX **12** 065501 (2019), [2] D. Wang *et al.*, APEX **13** 095501 (2020), [3] Y. Hayashi *et al.*, JCG **512** 131 (2019), [4] C. E. Dreyer *et al.*, APL **106** 212103 (2015), [5] S. Einfeldt *et al.*, JAP **88** 7029 (2000). [6] S. Washiyama *et al.*, JAP **127** 115301 (2020)

【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。