

Si 基板上の窒化物半導体層の内部応力に対するボイド形状の影響

Effect of void shape on internal stress of the nitride layer grown on Si substrates

東大院工 °奥 友則, 百瀬 健, 霜垣 幸浩, 出浦 桃子

The University of Tokyo, °T. Oku, T. Momose, Y. Shimogaki, and M. Deura

E-mail: oku@dpe.mm.t.u-tokyo.ac.jp

背景 我々は, Si 基板上への高品質窒化物半導体結晶の成長に向けて, 簡便な Si 基板表面炭化により作製した 3C-SiC 薄膜をバッファ層として利用することを提案している[1]. また, Si 基板上の窒化物半導体成長では, 内部応力に起因した基板の反りや成長層内のクラックが成長中や冷却中に発生することが課題である. これに対し我々は, 基板や成長層内にボイドを導入することにより内部応力を緩和させる技術[2]に着目している. 前回, GaN/SiC/Si 界面近傍の Si 基板内および GaN 層内にボイドを導入した場合の, GaN 層内の面内応力緩和効果について有限要素法計算を行い, ボイドの位置・サイズ・密度について評価した[3]. 今回はボイド形状が GaN 層の内部応力に与える影響について調べた.

方法・結果 実験において SiC 薄膜は 1200 °C で Si 表面炭化により形成, GaN 層は 1000 °C で MOVPE により成長する. それぞれの温度で完全緩和して形成した後に, 室温まで冷却した際に発生する熱応力を, 汎用有限要素法計算ソフト COMSOL Multiphysics を用いて弾性変形モデルで計算した. 内部応力として, 反りやクラック発生に影響する面内の垂直応力を評価した. GaN(0001)/SiC(111)/Si(111)の厚さは 2 μm/100 nm/280 μm とした. 1つのセルは 1.4 μm 角とし, 周期境界条件により平面方向に無限サイズを仮定した. 単位セル内にボイドが 1 個存在する場合の密度は $5 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ である. ボイドは GaN/SiC 界面の GaN 層側に配置し, 幅 (面内サイズ) の最大値を 100 nm, 高さ (面直方向サイズ) を 300 nm に固定して形状を変化させた. 図 1 にさまざまな形状のボイドの近傍における内部応力分布を示す. 形状にかかわらず, ボイド幅が大きい場所ほど応力緩和範囲が長く, 幅と同程度の距離まで広がっていることが分かる. また, いずれの場合もボイド表面の応力値が最小となり, ほぼ 0 であった. しかし, ボイドの上下が点でない円柱・円錐底面・回転楕円体では, 上下面部分で応力集中が生じている. これは, ボイドの体積が増加することによって応力緩和するため, ボイド上下面が面内方向に拡大変形することによって GaN 層や SiC 層に引張応力が印加されてしまうためである. これに対し, 円錐や双円錐の頂点では, 面内方向のボイド変形の影響が小さく応力集中が発生していない. 以上のことから, GaN 層中の応力緩和の観点からは, 錐型のボイド形状が望ましい可能性が示唆された.

[1] M. Deura *et al.*, J. Cryst. Growth **434** (2016) 77.

[2] F. J. Xu *et al.*, Cryst. Eng. Comm. **21** (2019) 2490.

[3] 奥他, 2021 年春季応物, 19a-Z27-4.

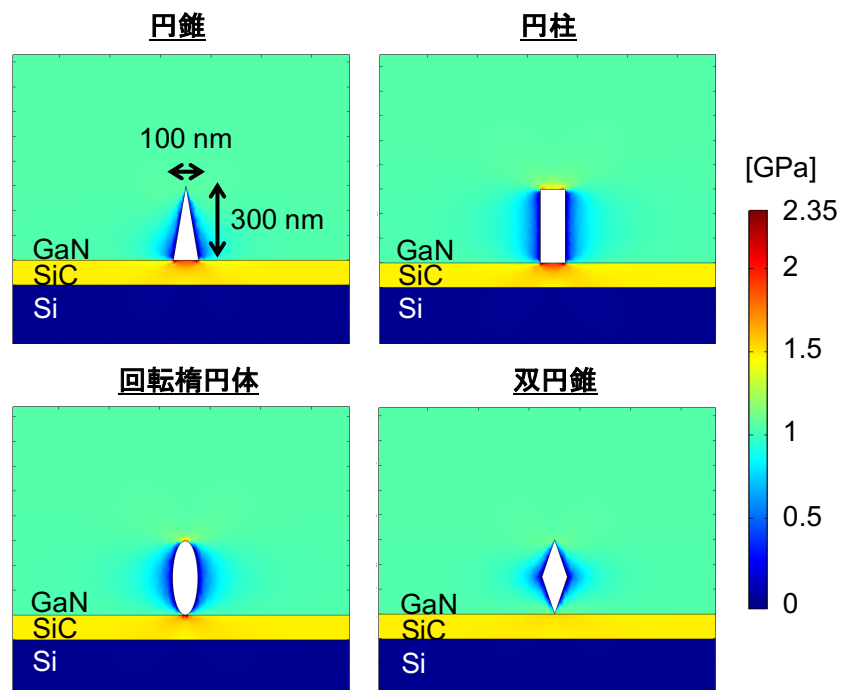


Fig. 1 各形状のボイド近傍の内部応力分布.