m 面上 GaN 中 C 濃度のステップ速度依存性の解析

Analysis of Step-velocity Dependences of C Concentration in GaN Grown on *m*-faces

法政大 [1]，サイオクス [2]
○望月 和浩 [1]，堀切 文正 [2]，太田 博 [1]，三島 友義 [1]
Hosei Univ. [1], SCIOCS [2]
○K. Mochizuki[1], F. Horikiri[2], H. Ohta[1], T. Mishima[1]
E-mail: kazuhiro.mochizuki.66@hosei.ac.jp

はじめに　{0001}Ga 面[1]及び N 面上[2] GaN 中 C 濃度のステップ速度 V_{step} 依存性は，キンク偏析モデルあるいはステップ端偏析モデルを用いて定量的に再現できた[3]。今回，*m* 面上 GaN 中 C 濃度の V_{step} 依存性[4]に関して，両モデルに基づき解析したので報告する。

キンク偏析モデル　キンク位置及びステップ端位置における C 濃度の平衡値をそれぞれ N_{kink}，N_{step} とすると，ステップフロー成長する GaN エピタキシャル成長膜中の C 濃度 N，ステップ端位置における C 濃度が N_{step} に達するまでの時間 τ_{step}，成長表面内の格子定数 a の間に

$$\ln(N_{kink}-N)=\ln(N_{kink}-N_{step})-(\tau_{step}/a)\,V_{step}. \quad (1)$$

なる関係が成立する[3]。Ga 面上及び N 面上の実験結果の場合，式(1)の相関係数を極大化する N_{kink} が存在し，その N_{kink} を用いて他のパラメータを決定できた[3]。ところが，*m* 面上の実験結果は，式(1)の相関係数が N_{kink} とともに単調増加し(Fig. 1)，キンク偏析モデルでは再現困難であった。

ステップ端偏析モデル　τ_{step} が，キンク位置で固相に取り込まれた C 原子がステップ端位置を経由して表面位置へ移動する平均時間 τ に比較して十分に短い場合，N は表面位置における C 濃度の平衡値 N_{surf}，固相における C の拡散係数 D を用いて，次式で与えられる[3]。

$$N=N_{surf}+(N_{step}-N_{surf})\exp(-D/V_{step}\,a). \quad (2)$$

$D=2\times10^{-13}$ cm^2/s (@ 1000℃[4]−1100℃[2]) を仮定することにより，実験結果を再現できた(Fig. 2)。

検討　上記 D は，C イオン注入後 1450℃アニールした GaN において報告された $D \leqq 2\times10^{-13}$ cm^2/s [5]と同等なことから，ステップフロー成長する GaN エピタキシャル成長膜中の C 偏析は，Ga 面，N 面，*m* 面のいずれにおいても，ステップ端偏析モデルにより記述できると考えられる。

当日は，ステップ端偏析モデルにより *m* 面上 GaN 中 O 濃度の V_{step} 依存性[4]を解析した結果[6]に関しても報告する。

[1] F. Horikiri et al, *Jpn. J. Appl. Phys.* **56** (2017) 061001.
[2] K. Nagamatsu et al., *J. Cryst. Growth* **512** (2019) 78.
[3] K. Mochizuki et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **59** (2020) 068001.
[4] H. Yamada et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **57** (2018) 04FG01.
[5] X. A. Cao et al., *J. Electron. Mater.* **28** (1999) 261.
[6] K. Mochizuki et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **60** (2021) 018002.

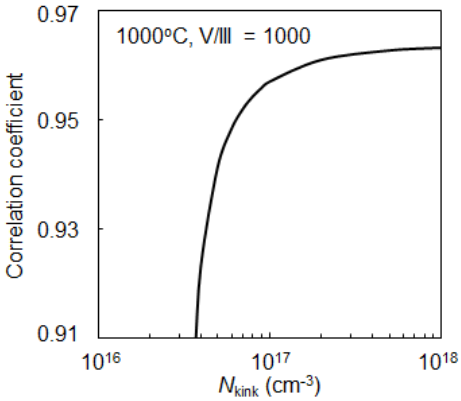

Fig. 1. Correlation coefficient for Eq. (1) fitted to the reported results [4] as a function of N_{kink}.

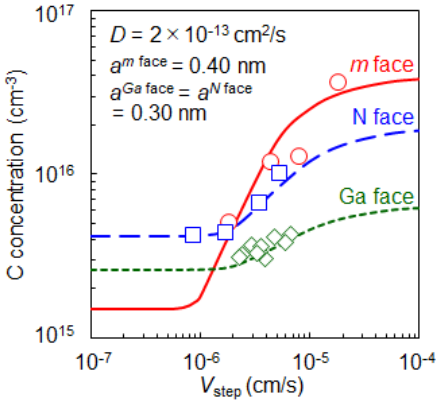

Fig. 2. Step-velocity dependences of carbon concentration fitted to the reported results [1,2,4].