キンク偏析モデルに基づいたステップ速度依存 GaN 中 C 濃度の解析

Kink Segregation Model for Analysis of Reported Step-velocity Dependences of Carbon Concentration in GaN

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　GaN MOVPE 成長膜中の C 濃度は，(0001)Ga 面上[1]及び(0001)N 面上[2]に存在する原子ステップの移動速度 V_{step} が低下すると減少する。この実験結果を，前回，ステップ端偏析モデル[3]に基づき解析した[4]。今回，同結果をキンク偏析モデルに基づき解析したので報告する。

モデル　キンク位置[3]における C 濃度の平衡値を N_{kink}，ステップ端位置[3]における C 濃度の平衡値を N_{step}，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を τ_{step}，成長表面内の格子定数を a 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 は

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

と表される[5]。但し τ_{step} は，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[3]へ移動する平均時間 τ より長いと仮定した (*cf.* ステップ偏析モデルの仮定: $\tau_{step} << \tau$ [3])。

検討　τ はキンク位置間の平均距離を平均キンク速度で除して求められ，a/V_{step} に等しい。V_{step} を $R_g \cot\theta$ (R_g: 成長速度; θ: 基板オフ角)により求めると，τ は(0001)Ga 面の場合 5 ms ($R_g = 0.33$ nm/s, $\theta = 0.3°$ [1])，(0001)N 面の場合 6 ms ($R_g = 0.96$ nm/s，$\theta = 6.3°$ [2])程度となる。式(1)を V_{step} に対する $\ln(N_{kink}-N)$の関係式に変形し，その相関係数をパラメータ N_{kink} に対して最大化した結果，τ_{step} は 12 ないし 19 ms とフィッティングされた(Fig. 1)。これらの τ_{step} は上記仮定 $\tau_{step} > \tau$ を満足している。

前回[4]及び今回の結果から，実験結果[1,2]はステップ端偏析モデル，キンク偏析モデルのどちらでも解釈可能なことが明らかとなった。τ_{step} の正確な見積りは困難なことから，どちらの偏析が GaN 中の C 濃度を支配しているかを判断するには，更なる実験が必要と考える。

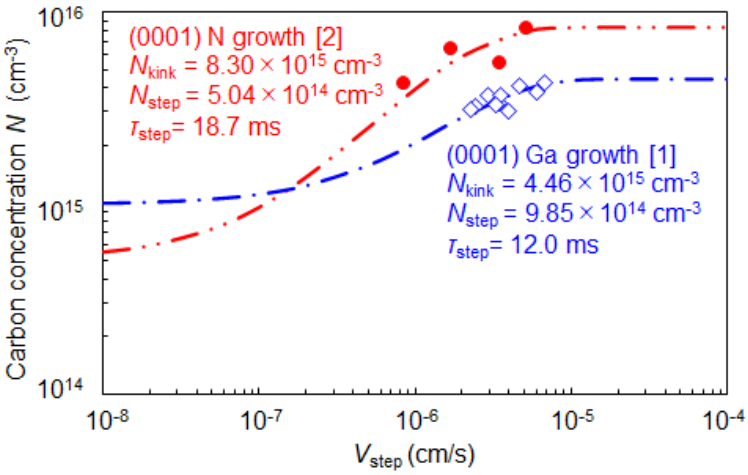

Fig. 1. Step-velocity dependences of carbon concentration best fitted to the reported results [1,2] based on Eq. (1). Note that experimental conditions for (0001) Ga and (0001) N growths are different.

[1] F. Horikiri et al, *Jpn. J. Appl. Phys.* **56** (2017) 061001.
[2] K. Nagamatsu et al., *J. Cryst. Growth* **512** (2019) 78.
[3] T. Nishinaga et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **28** (1989) 836.
[4] 望月ら, 2020 年春季応用物理学会 12p-D215-3.
[5] K. Mochizuki et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **59** (2020) 068001.

© 2020年 応用物理学会