気相反応から考える GaN MOVPE における炭素混入起源の解明

Study of the Origins of Carbon Impurities on GaN MOVPE from a Gas Phase Reaction Perspective

◦名大院工 [1], 名大未来研 [2], 九大応力研 [3]

◦(M1)大河内勇斗 [1], 長川健太 [1], 洗平昌晃 [2], 草場彰 [3], 寒川義裕 [3,2], 柿本浩一 [3], 白石賢二 [2,1]

Graduate School of Engineering, Nagoya Univ. [1], IMaSS, Nagoya Univ. [2], RIAM, Kyushu Univ [3]

Yuto Okawachi [1], Kenta Chokawa[1], Masaaki Araidai [2], Akira Kusaba [3]

Yoshihiro Kangawa [3,2], Koichi Kakimoto [3], and Kenji Shiraishi [2,1]

E-mail: okawachi.yuto@g.mbox.nagoya-u.ac.jp

はじめに

GaN は、次世代の半導体パワーデバイスの材料として期待されており、その優れた材料特性により、エネルギー損失の少ないデバイスを実現することができる。現在、GaN の主な製造法として MOVPE 法が広く用いられている。GaN MOVPE 法においては、Ga 原料としてトリメチルガリウム(TMG)、N 原料としてアンモニアが用いられる。GaN MOVPE 法では、プロセス中に炭素が混入し、GaN 中で残留ドナーとなる問題がある。そのため、高性能な GaN デバイス実現するために GaN MOVPE 成長の炭素混入の起源の解明が重要となる。我々は、TMG 分解プロセス[1]の中間生成物であり、炭素とガリウムを同時に含んでいるモノメチルガリウム (MMG)に着目した。本研究では第一原理計算と熱統計力学計算により TMG 分解反応により生じる分子やキャリアガス分子の平衡分圧を計算し、TMG が基板表面付近でどの程度分解されずに残っているかを明らかにした。

結果

Fig.1 は各分子の平衡分圧を各温度で計算した結果である。基板温度の 1300K に着目すると各分子の平衡分圧は Table.1 のようになった。分解最終生成物である GaH に対し、MMG は 10^{-3} のオーダーで存在することが明らかとなった。もし MMG が GaH と同じ吸着係数で結晶に吸着し、さらに取り込まれるとすると結晶中の炭素濃度は $10^{19}cm^{-3}$ となる。Fig.2 には TMG のメインの分解最終生成物である GaH の平衡分圧に対する MMG の平衡分圧の割合と CH_4 の平衡分圧の割合のV/III比依存性を示す。V/III 比依存性を見ると、MMG/GaH 比と CH_4/GaH 比のV/III比依存性に大きな違いがみられた。MMG/GaH 比はV/III比が上がると減少したが、CH_4/GaH 比はV/III比に対しほぼ一定であった。V/III比を上げると GaN 結晶の品質が向上するという実験結果がある[2]。V/III 比を上げることにより結晶中の炭素濃度が減少し、欠陥が減少し表面が滑らかになったと考えると、V/III比の上昇に対して GaH に対する MMG の平衡分圧が減少している Fig.2 の結果は MMG が炭素混入の起源であることを示唆している。

参考文献

[1] K. Sekiguchi, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 57, 04FJ03 (2018)

[2] Y. Tokunaga, et al., TaiyouNissanGihou, No.25(2006)

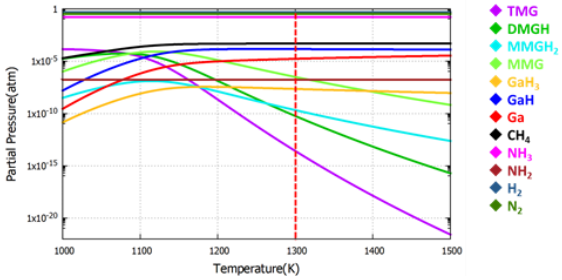


Fig.1: The temperature dependence of equilibrium partial pressure of molecules

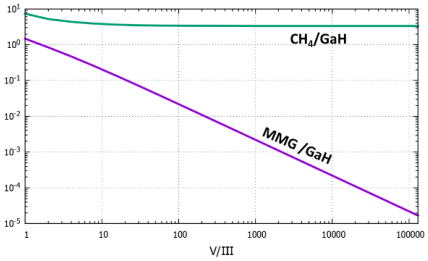


Fig.2: V/III ratio dependency of MMG/GaH and CH4/GaH

TMG	DMGH	$MMGH_2$	MMG	GaH_3	GaH
2.64×10^{-14}	5.87×10^{-11}	2.13×10^{-10}	3.16×10^{-7}	2.25×10^{-8}	1.46×10^{-4}
Ga	CH_4	NH_3	NH_2	H_2	N_2
1.71×10^{-5}	4.90×10^{-4}	0.165	1.67×10^{-7}	0.500	0.334

Table.1: Equilibrium partial pressure at 1300K

© 2019年 応用物理学会