

ミニマルシリコン CVD における三塩化ホウ素によるホウ素ドーピング

Boron Doping Method using BCl₃ gas for Silicon Minimal CVD

横国大院理工¹, ミニマルファブ推進機構², 産総研³,

本宮淳弘¹, [○]加持裕生¹, 羽深 等¹, 池田伸一^{2,3}, 石田夕起^{2,3}, 原 史朗^{2,3}

Yokohama National Univ.¹, MINIMAL², AIST³, Motomiya Atsuhiko¹, [○]Yuki Kamochi¹,

Hitoshi Habuka¹, Shin-ichi Ikeda^{2,3}, Yuuki Ishida^{2,3} and Shiro Hara^{2,3}

E-mail: habuka-hitoshi-ng@ynu.ac.jp

[序論] ミニマル CVD において用いるホウ素ドーピングガスとして、安全性と法令上の理由から三塩化ホウ素(BCl₃)ガスを用いることを提案[1]している。前報[2]では、ミニマル CVD 装置において、三塩化ホウ素ガスとジクロロシラン(SiH₂Cl₂)ガスによりシリコンとホウ素の混合膜を製膜可能であることを最初の結果として報告した。本報では、三塩化ホウ素ガス流量とホウ素ドーピング濃度などの関係を調査した。

[実験] Fig. 1 に示すミニマル CVD 装置を本研究に用いた。石英ガラス製の縦型円筒形の反応容器の中央部に直径 12.5mm φ のシリコンウェハを置き、反応容器外側から赤外線ランプにより加熱した。水素 (80 sccm)、ジクロロシラン (20 sccm)、三塩化ホウ素 (5~20 sccm) を上側の入口から供給した。反応容器内の圧力は 1 気圧、基板の温度を約 900°C に設定した。

[化学反応]ジクロロシランおよび三塩化ホウ素は、(1)および(2)式によりシリコン表面に化学結合して中間体となる塩化物*SiCl₂, *BCl_x (*:表面化学種)を生成する。水素(H₂)が両方の中間体を還元することによりケイ素(*Si)およびホウ素(*B)を生成する。これらがラングミュア型の表面反応となって並列に進行してシリコンとホウ素の混合膜を形成する場合、製膜速度 V とホウ素濃度 C_B はそれぞれ(3)および(4)式のように記述される。

$$\text{SiH}_2\text{Cl}_2 \xrightarrow{v_{A1}} * \text{SiCl}_2 \xrightarrow{\text{H}_2, v_{A2}} * \text{Si} + \text{HCl} \uparrow. \quad (1)$$

$$V = \frac{(k_{A1}k_{A2}[\text{SiH}_2\text{Cl}_2] + k_{A2}k_{B1}[\text{BCl}_3][\text{H}_2])}{k_{A2}[\text{H}_2] + k_{A1}[\text{SiH}_2\text{Cl}_2] + \frac{k_{A2}k_{B1}}{k_{B2}}[\text{BCl}_3]}. \quad (3)$$

$$\text{BCl}_3 \xrightarrow{v_{B1}} * \text{BCl}_x \xrightarrow{\text{H}_2, v_{B2}} * \text{B} + \text{HCl} \uparrow. \quad (2)$$

$$C_B = \frac{k_{A2}k_{B1}[\text{BCl}_3][\text{H}_2] \times 100}{(k_{A1}k_{A2}[\text{SiH}_2\text{Cl}_2] + k_{A2}k_{B1}[\text{BCl}_3][\text{H}_2])}. \quad (4)$$

[結果と考察] 得られた膜のホウ素濃度を X 線光電子分光(XPS)法により評価した。シリコン 2s, シリコン 2p と共にホウ素 1s のピークが明確に観察されたことから、ホウ素とシリコンが混合した膜であることが把握された。三塩化ホウ素流量が 10~20sccm においてはホウ素濃度が 80% 近い値であるが、5sccm では 2.7% に調整された。三塩化ホウ素ガス流量の調整により、必要とされるホウ素濃度(1%, 5×10^{20} atoms cm⁻³ 程度以下)にホウ素濃度を調整できるものと期待される。

[結論] ミニマル CVD 装置において、三塩化ホウ素ガス流量の調整により、シリコン膜中のホウ素濃度を調整可能であることが把握された。

[文献]

[1] M. Muroi, A. Yamada, A. Saito and H. Habuka, J. Cryst. Growth, 529, 125301 (2020).

[2] 本宮, 大谷, 羽深, 池田, 石田, 原, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 19a-Z24-8 (2021).

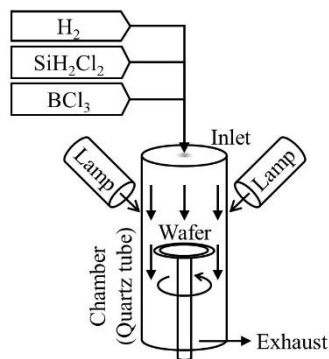


Fig. 1 ミニマル CVD 装置

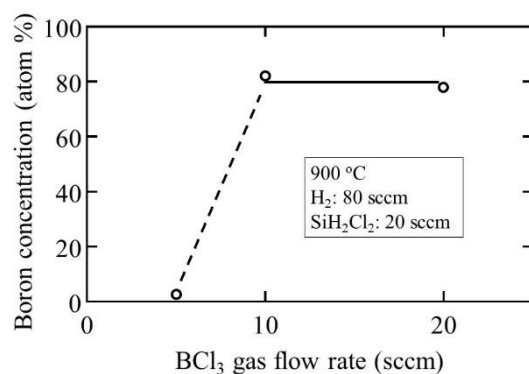


Fig. 2 得られた膜のホウ素濃度 (XPS)