ミニマル CVD 装置におけるシリコンエピタキシャル成長の輸送現象

Transport Phenomena for Silicon Epitaxy in Minimal CVD Reactor

横国大院工 [1]，ミニマルファブ技術研究組合 [2]，産総研 [3]，山田彩未，○松尾美弥，李 寧 [1]，羽深 等 [1]，
三ケ原孝則 [2]，池田伸一 [2, 3]，石田夕起 [2, 3]，原 史朗 [2, 3]
Yokohama National Univ.[1] , MINIMAL [2], .AIST[3], Ayami Yamada[1], Miya Matsuo[1], ◦Ning Li[1], Hitoshi Habuka[1], Takanori Mikahara[2], Shin-ichi Ikeda[2, 3], Yuuki Ishida[2, 3] and Shiro Hara[2, 3] ()
E-mail: habuka-hitoshi-ng@ynu.ac.jp

【序論】

「必要なものを・必要な時に・必要な量だけ生産する持続可能な生産システム」として、小さなウエハによる半導体生産システム「ミニマル・マニュファクチャリング」（MM）[1]が提案され、我々は MM に用いるための CVD 装置を製作し、シリコン薄膜成長プロセスを開発[2, 3]した。今回は、CVD 装置内の移動現象を数値計算により解析し、特徴を把握したので、詳細を報告する。

【計算】

支配方程式として連続の式、運動方程式、エネルギー方程式、化学種輸送の式、状態方程式を用いた。トリクロロシラン（$SiHCl_3$, TCS）を原料とし、総括反応式には次を仮定した。

$$SiHCl_3 + H_2 \rightarrow Si + 3HCl \qquad (1)$$

ラングミュア型の表面反応であることから、成長速度式には次式[4]を用いた。

$$Si_{dep} = k_r k_{ad} [H_2][SiHCl_3] / (k_r[H_2] + k_{ad}[SiHCl_3]) \qquad (2)$$

k_{ad} と k_r は $SiHCl_3$ の化学吸着と中間体分解の速度定数である。[i]は化学種 i の表面濃度である。

装置形状を Fig.1 に示す。シリコンウエハの温度を 1073 K、圧力を 1 気圧とし、H_2 をキャリアガスとして $SiHCl_3$ 濃度 1%、流速 0.008~0.3m/s にて装置の上部から導入し、ウエハの回転数を 0,4 rpm として計算した。熱流体数値計算には Fluent15.0 を用いた。

【結果と考察】

計算により得られた Si 成長速度は全ての条件において約 0.07 μm/min であり、文献[4]に一致した。Fig.2 に装置内の流速ベクトルを示す。入口流速 0.3 m/s では、装置上部から導入された流れがウエハに直接に到達している。入口流速 0.008 m/s においては、顕著な上向きの流れが発生し、循環しつつサセプタの外周にある排出口へ流れ出る様子が認められた。

ウエハの回転数による温度分布の変化を Fig.3 に示す。回転によって気相の温度が低下する様子が認められた。これにより、$SiHCl_3$ は比較的高い濃度のままウエハに到達し易くなると予測される。

【結論】

ミニマル CVD 装置内の移動現象を数値解析した結果、入口流速が遅くなると装置内中央に自然対流が発生することが予測された。その場合には回転の効果を受けやすいことが気相の温度分布により示され、$SiHCl_3$ が対流に沿って運ばれる様子を調整できる可能性がある。

参考文献

[1] S. Khumpuang et al., IEEJ Trans. sensors and micromachines, 133 (2013) 272-277.
[2] N. Li *et al.*, Physics Procedia, 46C (2013) 230-238.
[3] N. Li *et al.*, ECS J. Solid State Sci. Technol., 5 (2016) P280-P284.
[4] H. Habuka *et al.*, J. Cryst. Growth, 169 (1996) 61.

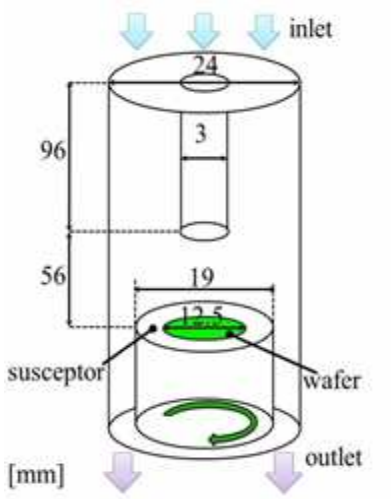

Fig. 1 Geometry of minimal CVD reactor

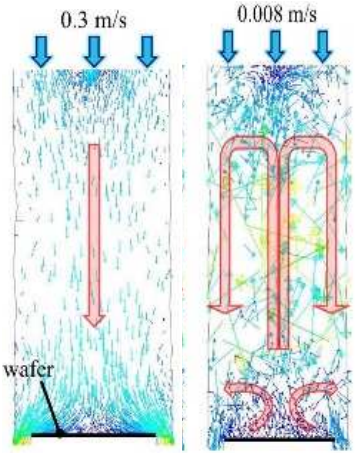

Fig. 2 Gas velocity vectors ($SiHCl_3$ 1 mol%, 4 rpm, 1073 K)

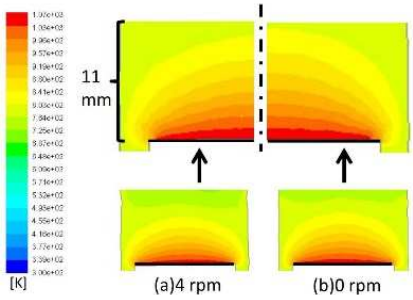

Fig. 3 Temperature contour lines (Inlet velocity 0.01 m/s, $SiHCl_3$ 1 mol%, 1073 K)

© 2016年 応用物理学会