流体力学からみたミニマル CVD 装置の特徴

Characterization of the minimal CVD tool in the hydrodynamic point of view

産総研[1]，ミニマルファブ推進機構[2]，オリエンタルモーター[3]，横国大[4]
○石田 夕起[1, 2]，三ヶ原 孝則[1]，三浦 典子[2]，池田 伸一[1, 2]，伊藤 孝宏[3]，
羽深 等[4]，クンプアン ソマワン[1, 2]，原 史朗[1, 2]，
AIST[1], MINIMAL[2], ORIENTAL MOTOR Co., Ltd.[3], and Yokohama National Univ.[4]
°Yuuki Ishida[1, 2], Takanori Mikahara[1], Noriko Miura[2], Shinichi Ikeda[1, 2], Takahiro Ito[3],
Hitoshi Habuka[4], Sommawan Khumpuang[1, 2], and Shiro Hara[1, 2]
E-mail: y-ishida@aist.go.jp

ミニマル CVD 装置の開発では、革新的省資源・省エネルギープロセスを実現することを目的としている。そのためには、まずキャリアガス流量を減らさなければならない。キャリアガスとしては水素（H_2）を用いているが、当初 1000 sccm の流量が必要であったものが、成膜条件を最適化することで、現状は 100 sccm まで削減することが可能となった[1]。この値をレイノルズ数（∝慣性力/粘性力）に換算すると、我々の系では 1 に相当する。通常のメガファブ CVD 装置のレイノルズ数は約 10^2～10^4 であるので、ミニマル CVD 装置は 2～4 桁小さいことになる。これほどのレイノルズ数の差は、流体力学的にみると興味深い。例えば、飛行機と昆虫のレイノルズ数はそれぞれ 10^7～10^8 と 10^2～10^3 であり、4～6 桁異なる。これほど違うと、両者の飛行メカニズムは全く別物になり、適用される流体力学的描像も質的に異っている[2, 3]。ミニマル CVD 装置とメガファブ CVD 装置との間も同様なことが生じている可能性がある。

我々は、ミニマル CVD 装置による Si ホモエピタキシャル成長を研究してきた。そして、Si エピ膜の膜厚分布がメガファブ CVD 装置とは異なる事を見出した。すなわち、メガファブ CVD 装置では膜厚分布は同心円状になるのに対して、ミニマル CVD 装置では一方向に偏るのである。この現象を解明するためにシミュレーションを用いて解析を行ってきたところ、ミニマル CVD 装置では内部構造の対称性が破れるとガス流の偏りが生じ、結果として膜厚分布の偏りが生じることを見出した。（メガファブ装置では対称性が破れてもこのような事は生じない。）

その一例として、サセプタ上面と反応炉の中心軸は一致させるが、サセプタを 2.5 度傾けてシミュレーションを行った結果を示す。図 1 は反応炉内の配置図である。水素流量 100 sccm、基板温度 1000℃の条件でシミュレーションを行った。図 2 は基板上面の流速分布の結果である。流れの中心は右に偏り、右から左方向に流れが生じる結果となった。解析を進めたところ、この現象の原因は以下のように推測される。サセプタ最上部の隙間はサセプタ上面と反応炉の中心軸が一致しているため等しいが、サセプタ最下部の隙間は左のほうが広い。それゆえ、流速は左の方が大きくなり、ベルヌイの定理から左の方がわずかに圧力が低くなって右から左の流れが生じたと思われる。これは、ガスの流速が遅いため、わずかな圧力差でも流れに影響した結果と解釈される。

発表当日は、低レイノルズ数領域ゆえに現れる現象について流体力学的に解釈した結果を報告する。

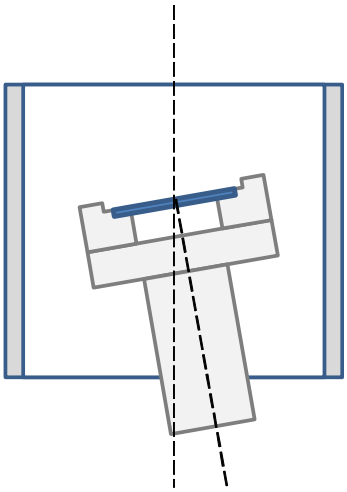

図 1　反応炉内の構造

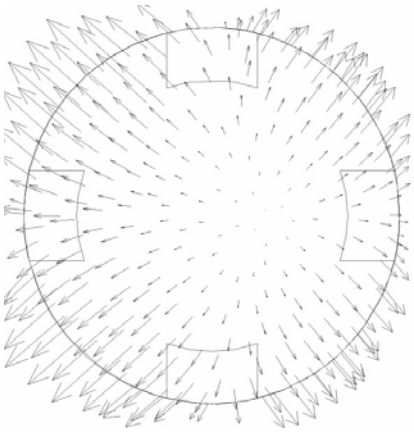

図 2　基板上のガス流速分布

＜参考文献＞

[1] 石田ら、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、20a-A19-12
[2] 飯間信、ながれ、Vol. 21（2002）P. 153.
[3] 河内啓二、ながれ、Vol. 21（2002）P. 323.

© 2018年 応用物理学会