18p-S1-1

プラズマシミュレーションの現状と課題

Present Status and Problems of Plasma Simulation

首都大院理工　○ 朽久保 文嘉

Tokyo Metropolitan Univ. ○Fumiyoshi Tochikubo

E-mail: tochi@tmu.ac.jp

プラズマシミュレーションでは，系の現象を物理・化学に則ってモデル化し，数値計算によって解析する。通常は，電磁界が作用する下で，流体モデル，または粒子モデルによって荷電粒子の生成・消滅と輸送を表現することがベースとなり，検討課題固有の物理・化学的現象が複合される。計算機の性能向上，衝突断面積や反応レート等の基礎データの蓄積，シミュレーション技法の確立に伴い，非平衡プラズマのシミュレーションは発展してきた。例えば，低気圧 CCP では，1980 年代半ばに希ガス中での基本的な構造解析が開始され，時空間で変動するシース構造やプラズマ密度が理解され，以降，負イオンを含むガス中での解析，CVD やエッチングなどのプロセスガス中での化学反応を含んだ解析，更には膜堆積やエッチング形状の解析，原子レベルでの表面相互作用解析などへと進化している。また，大気圧下のストリーマ放電や誘電体バリア放電においても，ストリーマ進展といった物理的解析からスタートし，化学反応の考慮，気体力学の考慮など，より詳細な解析へと進化している。

このように，プラズマシミュレーションは現象の理解には重要な役割を果たしてきたが，設計ツールには至っておらず，解決されるべき課題も多い。

(1) 素過程の充実の必要性：プラズマシミュレーションの信頼性は，衝突断面積や化学反応速度，表面反応の素過程などの基礎データに大きく依存する。例えば，電子衝突断面積では，プロセスに利用されるガスを網羅されてはおらず，また，化学反応の検討に重要となる解離衝突断面積などの信頼性は必ずしも高くない。イオン衝突断面積の種類は更に限定されている。

(2) 多次元化：現在のシミュレーションの多くは対称性を考慮した 2 次元，または 1 次元解析が中心であるが，3 次元解析が必要な場合も多い。例えば，同軸円筒電極型リアクタ内や誘電体上を進展するストリーマの解析などは簡単な系であるが本質的に 3 次元となる。

(3) マルチフジックスへの対応：気流や熱の考慮，詳細な反応の考慮，表面反応（相互作用）の考慮（金属や誘電体といった固体のみならず，触媒，液体や生体など）など，プラズマのみならず様々な現象をあわせて考慮する必要がある。このような現象は，多様な空間スケール，時間スケールを含んでおり，適切なモデル化と解析が必要である。

(4) 利用者の拡大：流体解析では商用 CFD ソフトが広く利用されている。プラズマシミュレーションにおいても容易にソフトを利用できる環境が必要である。

© 2014 年　応用物理学会