

プラズマエレクトロニクス分科会企画

「プラズマとナノ界面の相互作用～プロセス揺らぎの制御を目指して～」

プラズマエレクトロニクス分科会 名大院工マテ理工 白藤 立

(2010年3月17日(水) 13:30～17:35)

微細加工に代表されるプラズマプロセスは、プラズマと物質との界面プロセスである。その処理寸法がナノサイズまで縮小すると、揺らぎの効果が顕在化することが、九州大学の白谷等によって指摘された。この揺らぎの制御無くして次世代の超精密プラズマプロセスはあり得ない。本年度、九州大学の白谷を中心としたグループにより、揺らぎに注目したナノスケールのプラズマと表面の相互作用をより広い観点(揺らぎの積極利用も含む)で取り扱う新学術領域研究が採択されたことから、班員によってシンポジウムを実施することとなった。本シンポジウムでは、領域代表の白谷等による上記問題提起に続き、「つくる」「みる」「つかう」にブレークダウンした各分野の担当者の取り組みとその最近の成果について講演を頂き、新しいプラズマプロセスのあり方を討議した。

【つくる】

東京大学の寺嶋等は、揺らぎを積極的に利用した新しい反応場の形成に取り組んでおり、時空間的に密度揺らぎを持つ不均質媒質である超臨界流体中でのプラズマ生成に成功している。知的財産等の関連にて具体的な生成物の紹介は控えられたが、最近では、通常の均質媒質中でのプラズマでの生成が確認されていない物質群の合成にも成功していることが報告され、今後の発展が期待される。一方、こうした揺らぎの制御方法として、「温度」に注目し、中性ガス粒子の温度を室温から5Kまで極低温化し1K以内の精度で制御したクライオプラズマにおいて、「揺らぎ」の抑制が可能であることも示された。この「低温化」の概念は、最後の斧等による微細加工時の揺らぎ抑制にも活かされることになる。

【みる(実験)】

ナノ界面の揺らぎ制御のためには、その界面を「みる」必要がある。プラズマを用いた滅菌・殺菌に取り組む伊藤等は、ナノ界面である生体細胞表面と大気圧プラズマジェットとの相互作用の分光学的診断に取り組んでいる。講演では、真空紫外吸収分光法によるオゾン濃度の定量化が行われていたが、今後は、リアルタイムリアルタイムレーザ蛍光顕微鏡観察、リアルタイム光断層計測、近赤外・赤外界面分子構造リアルタイムモニタリングが予定されており、細胞膜近傍のナノレベルの相互作用の担い手の同定とその効果が明らかにされるものと期待される。また、本講演に対する意見として、モニタリングに基づくプロセスのフィードバック制御が、揺らぎ抑制のために重要であることが指摘された。

【みる(モデル化・シミュレーション)】

モデル化・シミュレーションの立場からナノ界面の理解に取り組んでいる首都大学東京の朽久保等は、こうしたバイオ関係のプラズマプロセス等にも関連する液体と接するプラズマを対象としている。具体的対象として、陰極液面上に強いNaの発光が観測されるNaCl溶液上のHe直流グロー放電に注目し、液面上の荷電粒子やHe励起種の時空間分布を明らかにしている。本講演では、

液面直上に形成された極めて薄い $20\ \mu\text{m}$ 程度のシース領域にて加速されたイオンが $0\sim 5\text{eV}$ のエネルギー分布を持って入射することが示された。今後は、分子動力的アプローチを併用した原子分子レベルの定量的モデルへの展開が予定されており、液体ナノ界面におけるプロセスの総合的理解が期待される。

【つかう】

京都大学の斧等は、ドライエッチングにおいて課題となっているナノ界面の制御に取り組んでいる。本講演では、粒子法や分子動力学法に基づく詳細な表面形状シミュレーションによって、入射フラックスがナノレベル表面形状に及ぼす影響が示された。更に、ナノスケールのエッチングにおいて、表面に入射するエッチャント量が、もはやフラックスではなく、個数で議論されなければならないことが指摘された。その際、揺らぎを極限まで抑制するための具体的方策として、エッチング方向と直交する粒子速度成分をゼロにしたゼロ温度プラズマという、微細加工のための新しいプラズマのあり方が提示され、今後の展開が期待される講演となった。

【まとめ】

今回、個々の研究者がそれぞれの専門分野で遭遇するナノ界面とその揺らぎの制御に対して取り組んでいる状況を報告して頂いた。プロセス対象が異なるために、ともしれば共通の視点を見失う可能性があったが、今回のシンポジウムの開催によって、揺らぎのひとつの原因である「温度」の制御が有効であること、また、フラックス等のプロセスパラメータをフィードバック制御する機構をプロセスに組み込む必要があること、という共通の視点を得ることができたと思う。今後は、こうした点を中心に相互に議論することによって、次世代プラズマプロセスを開拓してゆくことができるものと期待される。