

重イオンビーム科学に関連する原子分子データとプラズマ物理

森林 健悟¹

¹量研

重イオンビームが物質に照射されるとイオン衝突電離により入射イオンの軌道上に多くの分子イオンと二次電子が発生する。これらのイオン、電子の発生には原子分子データが必要であり、その最新のデータを紹介する。また、ここで発生した分子イオンは強い電場を作るが、この電場は遅い二次電子は捕獲し、プラズマを形成する。二次電子がこの電場から脱出する確率 (P_{set}) を理論 (ポアソン方程式) [1]、シミュレーション [2] 両面から議論する。さらに、捕獲された二次電子がこれらの電子は分子イオンの電場を遮蔽する (デバイ遮蔽)。このデバイ遮蔽がいつ、どこで、どのように形成されるかを P_{set} から解析する。

重イオンビームが照射されると衝突電離により重粒子線の軌道上に多くの分子イオンと二次電子が発生する。ここで発生したイオンは強い電場を作るが、この電場に遅い二次電子は捕獲され、イオンの周りに集まる。これらの電子はイオンの電場を弱める働きをする (デバイ遮蔽) [1]。この捕獲された二次電子の密度分布のシミュレーション結果はポアソン方程式の解 [1] と良い一致を示した。さらに、この解から二次電子がこの電場から脱出できる確率 (P_{set}) の簡便式

$$P_{set} \sim \frac{[A + (\sqrt{\sigma} - A) \exp(-\frac{r_e}{\lambda_D})]}{\sqrt{\sigma}} \quad (1)$$

を導出し、シミュレーション結果と比較した。ここで、 A は定数、 σ は入射イオン衝突電離断面積、 r_e は重イオンビームの軌道から距離であり、 λ_D はデバイ長と呼ばれるもので、プラズマの大きさを表す物理量である。 λ_D はデバイ長と呼ばれるもので、プラズマの大きさを表す物理量であり、シミュレーションから数 nm 以下であることがわかった。図 1 に様々な t 及び $r_e = 1 \text{ nm}$ 、 5 nm に対するシミュレーションで求めた P_{set} と σ の関係を示す。これらの関係からいつ、どこで、どのようにデバイ遮蔽、すなわち、プラズマが作られるかを評価した。

[1] F.F. Chen, 'Introduction to plasma physics', Plenum press, New York, (1974).

[2] K. Moribayashi, J. J. Appl. Phys. **59** SH0801 (2020).

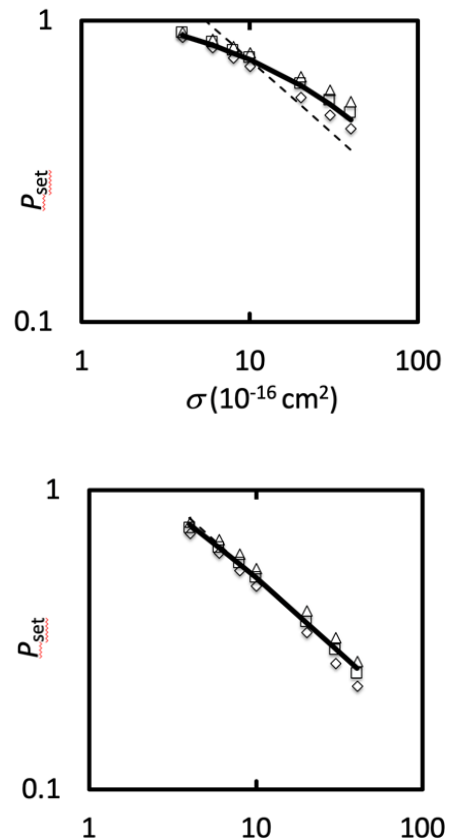


図 1 P_{set} vs. σ . $r_e = 1 \text{ nm}$ (上図)、 5 nm (下図)、シンボル: シミュレーション結果 [$t = 10 \text{ fs}$ (\diamond), 40 fs (\square), 80 fs (\triangle)], 太線: 式 (1) から求めた P_{set} の値 ($A = 1 \times 10^{-8} \text{ cm}$ とした)、鎖線: ($\sigma^{-1/2}$) に比例した関数。