

エバネッセント波レーザー誘起蛍光法による 石英表面直近のOHラジカル検出における信号と雑音

佐々木 浩一

北海道大学 大学院工学研究院 量子理工学部門

<http://tyche.qe.eng.hokudai.ac.jp/>

プラズマプロセッシングは反応性プラズマと凝縮相表面の相互作用の応用技術であり、多くの場合、プラズマ中で生成されたラジカルが重要な役割を果たす。表面におけるラジカルの損失確率がゼロでないと、ラジカル密度はプラズマバルク部から表面に向かって減衰し、プラズマプロセッシングにおいて重要なのはプラズマバルク部におけるラジカル密度ではなく、表面直近におけるラジカル密度およびその勾配となる。多くの場合、プラズマバルク部から表面へのラジカルの輸送過程は拡散であるから、密度減衰の特性長は気相部における平均自由行程で決まり、低ガス圧 (< 100 mTorr) プラズマではセンチメートルのオーダーとなるが、大気圧プラズマではミリメートルを大きく下回る。したがって、空間分解能がミリメートルオーダーの計測法を用いても表面直近におけるラジカル密度を知ることができない。この報告では、石英プリズムの全反射面において形成されるエバネッセント波を用いて、レーザー誘起蛍光法により、大気圧プラズマ中のOHラジカルを石英表面近傍 (100 nm) において検出する試みについて報告したい。初期的実験の結果は簡単な論文として既発表 [1] なので、ある程度詳しいことはそちらを参照されたい。

波長可変色素レーザーまたは光パラメトリック発振器の出力ビームを石英プリズムに入射して全反射させ、全反射点にアルゴンプラズマジェットを照射した。レーザー波長、石英の屈折率、および入射角 (45 度) から、エバネッセント波の減衰長は約 140 nm と評価された。全反射点を分光器の入口スリットに結像させ、スリットの前にはレーザー波長を減衰させレーザー誘起蛍光波長を透過させる干渉フィルターをおいた。分光器の透過光を光電子増倍管で検出し、電気信号をオシロスコープおよびマルチチャンネルスケーラーで記録した。

この光学配置を取ったとき、プリズム表面が完全であれば、観測側の自由空間を伝搬するレーザー光は存在しないので、迷光フリーの測定が可能はずである。しかしながら、実際には、プリズム表面が不完全なため、エバネッセント波は散乱され、観測光学系が全反射点を直視するため、強烈な迷光が観測されて、波長可変レーザーパルスが持続する時間帯では S/N はゼロでレーザー誘起蛍光の検出は不可能であった。レーザーパルスの後の時間帯 (200 ns まで) においても、使用した光電子増倍管および関連回路の電気特性に起因すると考えられる雑音パルスが強烈で、レーザー誘起蛍光の検出は困難であった。200 ns 以降の時間帯においては、電気信号の記録にオシロスコープを用いるとやはりレーザー誘起蛍光の検出は困難であったが、マルチチャンネルスケーラーを用いた光子計数法によって記録すると、S/N が 1 を越えるレーザー誘起蛍光を検出することができた。プラズマバルク部におけるレーザー誘起蛍光とエバネッセント波レーザー誘起蛍光の強度を大雑把に比較すると、それらの比は概ね散乱体積の違いで説明可能であることがわかった。

[1] K. Sasaki, Y. Hishida, and N. Sadeghi, J. Instrum. **14**, C11016 (2019).