

レーザー駆動真空紫外(VUV)光による光解離過程の応用

Application of photo dissociation process by vacuum ultraviolet radiation from laser produced plasma

田中のぞみ 特任講師

共同者: 藤岡慎介 教授、西原功修 名誉教授、James Edward Hernandez 特任研究員
城崎知至 招聘教授 (広島大学)、砂原淳 招聘准教授 (パデュー大学)

光子エネルギー10 eV以下の真空紫外光(Fig. 1)は、イオン化やプラズマ状態を介さずに効率的に分子を直接解離する。この領域の原子分子過程を応用利用するには高出力の光源が必要となる。特に高出力の光は光源の選択肢が少ないことで知られている。レーザープラズマ光源は操作性が高く、非接触であり、コンパクトな装置で高強度高フルエンスという、産業応用に最適な特性を備える。

真空紫外光による光解離を用いることで、例えば高い光解離断面積(Fig. 2)を利用し、効率的にラジカルを生成することができる。水素ラジカルは反応性が高く、シリコン(Si)と結合し SiH_4 を形成することによるエッチング、 CH_4 形成による精密機器内のカーボン汚染除去などに利用されている。

本研究では波長可変のレーザープラズマ駆動真空紫外光源の開発、真空紫外光集光光学系の開発、産業応用に向けた水素ラジカル生成の成果を上げている。

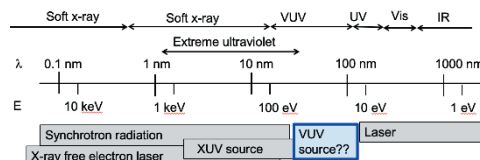


Fig. 1 各波長帯とその光源。真空紫外光はレーザーの短波長側限界と放射光の長波長側限界に位置する。

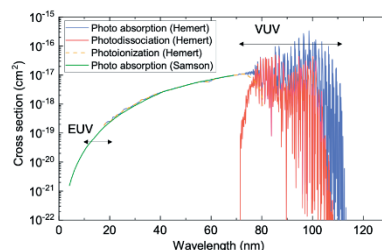


Fig. 2 水素ラジカル生成断面積。光解離過程の方が光電離よりも2桁ほど断面積が大きい。

https://home.strw.leidenuniv.nl/~ewine/photo/display_h2_ca2bf3f6b7e18a508253e9521510a4b5.html

応用1

放射波長域可変の
レーザープラズマ光源開発

現在、波長100 nm、光子エネルギー10 eV付近の真空紫外帯域を提供する光源を得ることは難しい。レーザープラズマ光源を用いることで、高強度高効率、かつ小さいフットプリントでの真空紫外光発生が可能となる。駆動レーザー強度を変化させることで光源プラズマの温度密度を制御し、希望する帯域のスペクトルを得ることが出来る。極端紫外領域から120 nm帯までの放射が得られることを、二次元輻射流体コードを用いて示した(Fig. 3)。現在はスズの光源を用いて、実験的に特性評価を行なっている。

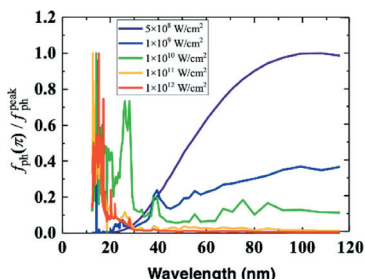


Fig. 3 各駆動レーザー強度に対する波長スペクトルシミュレーション結果。

応用2

光解離を利用した
高効率水素ラジカル生成

汎用性の高い水素ラジカルを実験的に生成した。レーザー強度を 10^{11} W/cm^2 から 10^9 W/cm^2 に減少させることで間接的に放射を長波長側に制御。反応断面積の特性を利用してラジカル生成効率を増大した(Fig. 4)。光源に集光系を設置することで高フルエンスの真空紫外光の利用を可能にし、高密度(10^{14} cm^{-3} @ 5 Pa水素ガス)の水素ラジカル生成を示した。

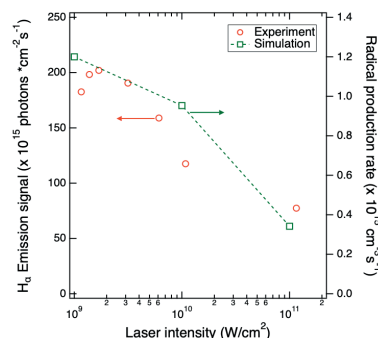


Fig. 4 可視分光による水素発光スペクトル強度の推移。レーザー強度を減少させることで、スペクトル強度が増加、ラジカル生成効率も増加することが確認された。

N. Tanaka et al, Appl, Phys, Lett., **124**, 152113 (2024).
J. E Hernandez et al, Appl, Phys, Lett., **124**, 012101 (2024).

グループHP

<https://lf-lab.net/>

キーワード

光解離プロセス、真空紫外光、ラジカル

