

裏面照射励起フォトカソードを用いた大気圧放電のガス種依存性 Dependence on gas type of atmospheric pressure gas discharge using back-illuminating excited photocathode

1240030 大塩 亮太 (プラズマ応用研究室)
(指導教員 八田 章光 教授)

1. 背景と目的

鷹林らによって光電子放出援用プラズマ CVD による薄膜合成が報告されている [1]。また、スクマらによってナノ膜厚金薄膜に裏面からエキシマランプを照射することにより、大気圧でも安定な直流持続放電が可能であることが報告された[2]。大気圧放電はいくつかの問題点があり、安定性がないこと、均一性がないこと、放電ガスの選択肢が少ないことがあげられる。これらの問題点を改善するため、ナノ膜厚金薄膜で裏面照射励起フォトカソードを用いた放電実験を行った。

2. 実験方法

実験装置を図 1 に示す。石英ガラス縦横 26 mm×76 mm にナノ膜厚金薄膜計算上の膜厚 9 nm、直径 18 mm の円で成膜し、この面を表面としてガラス裏面から Xe エキシマランプ (オーク製作所、OEL-172-040FSS) を照射する。ナノ膜厚金薄膜を陰極とし、陰極に直流高圧電源 (DMY-5000NBX1) を接続し、Analog Discovery 2 (410-321) を用いて直流高圧電源の印加電圧を制御する。Analog Discovery 2 (410-321) は PC からの信号を送信することで電圧を自由に制御できるデバイスのことである。陽極は、アルミアングルに計算上の膜厚 135 nm の金薄膜を成膜している。

図 1 の実験装置を用いてアルゴン、ヘリウム、窒素、空気の 4 ガス種を用いて直流高圧電源で電圧を印加し、それぞれのガスで I-V 特性を観測する。ガスは陽極に流入出口を設けて、マスフローコントローラー (C1005-4S2-500-N2) (以下 MFC) で全ガス 250sccm になるように調整する。電流、電圧値は直流高圧電源の V_{monitor} と I_{monitor} にデジタルマルチメータ (SANWA PC700) を接続して PC で電流、電圧値のデータを取っている。ガス種による印加電圧範囲はスクマの論文 [2] や過去の実験の経験則に基づいて設定した。

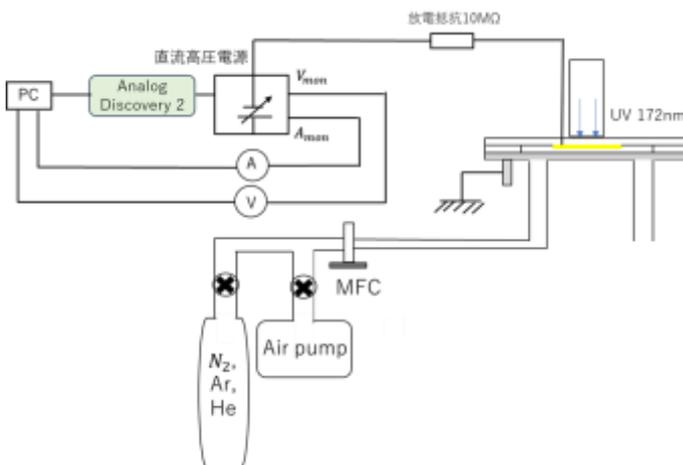


図 1 実験装置

3. 実験結果・考察

図 2 に実験結果を示している。領域①では全ガス電圧の増加とともに電流が増加している。領域②では電流が指数関数的に増加している。領域③では窒素以外は電流が急激に増加しているが、窒素では電圧を上げると電流が減少する特殊な傾向が見られた。

図 2 において電圧に対する電流の変化について考察する。全ガスともに領域①、②では電流が指数関数的に上昇でして

いたが、これは低電圧領域では深紫外線によってナノ金薄膜から励起された初期光電子が電極間のガス分子に衝突した際に印加電圧が低いためイオン化が起きていないため電流が飽和傾向であると考えられる。領域②において窒素とアルゴンはヘリウムよりも 10 倍以上の電流が流れている原因については、分子を正イオンと電子に分離する電離電圧が窒素とアルゴンはヘリウムよりも小さいからであると推測できる [3]。そして、領域③において電流が急激に増加しているが、これは電界が衝突電離を起こすのに十分な大きさになり、タウンゼント放電が起きて電流値が急激に増加していると考えられる。また、印加電圧範囲は平均自由行程の式

$$\lambda = \frac{1}{N\sigma} = \frac{1}{N\pi(r_1 + r_2)^2} \dots (1)$$

を用いて決めることができる。N は数密度、 σ は衝突断面積、 r_1 は入射粒子の半径、 r_2 は標的粒子の半径を表している。 r_1 は電子、 r_2 はそれぞれのガス分子を表しており、式 (1) にあてはめると、アルゴン、ヘリウム、窒素の平均自由行程はそれぞれ 3.59×10^{-7} m、 1.51×10^{-5} m、 3.47×10^{-7} m となる。平均自由行程の長さは長い順に窒素、アルゴン、ヘリウムとなり、長いほど電子と分子の衝突数が減るため、スクマの論文 [2] や過去の実験の経験則に基づいて設定したそれぞれのガス種による印加電圧の範囲は正しいと推測できる。

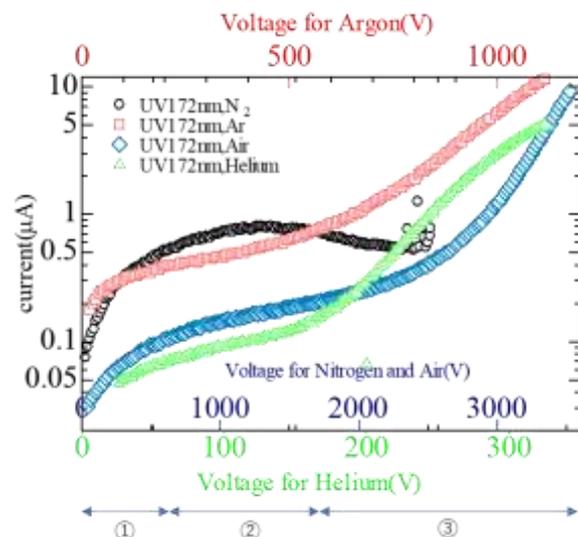


図 2 4 ガス種の I-V 特性

4. まとめ

裏面照射励起フォトカソードを用いた放電により、ガス種によらず安定して放電することが確認できた。

参考文献

- [1] Formation of Diamond-Like Carbon Films by Photoemission-Assisted Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition, 21 Oct 2013
- [2] Photoemission-induced atmospheric-pressure DC gas discharge using back-illuminated nano thickness photocathode, 31 Oct 2022
- [3] 電離電圧および、準安定エネルギー, <https://www.eng-book.com/pdfs/68866e202207d9124afc956db56d72bc.pdf>