

紫外線による光電子放出効果を用いた放電プラズマの生成

1210080 鈴木 裕紀 (プラズマ応用研究室)

(指導教員 八田 章光 教授)

1. 目的

プラズマ技術はその特異な性質により産業、医療へ大きな影響を与えている。[1]そのなかで化学反応を利用したプラズマ放電は材料の表面加工技術に広く利用されている。

炭素の単層薄膜であるグラフェン薄膜は導電性に優れた薄い膜であり、ガスセンサーやトランジスタの材料として今後の応用に注目されている[2]。ナノ膜厚の炭素薄膜の合成製法としてプラズマ CVD 法がある。以前の研究で、炭素系薄膜は、毎分 100nm、1秒間に 10nm 程度の速度で成膜されることが分かっており、ナノ膜厚の成膜時間は長くて数秒、あるいは 1秒以下の制御が必要である。ミリ秒レンジの時間のパルス変調放電やパルスガス供給を行った場合に、放電開始に必要な初期電子の供給不足により放電開始までの遅れとばらつき(ジッタ)が顕著になる。数ミリ秒から数秒間の放電では初期電子に自然放射線(宇宙線)を用いて初期電子を供給しているが、グラフェンの生成に必要な、レンジによる放電では容器内を透過する宇宙線の頻度が低いためジッタが発生してしまう。実際の実験では数ミリのジッタ、または放電を開始しない場合が確認された。ジッタが発生してしまうことでグラフェン薄膜の成膜において必要な時間の CVD 行われないうといった問題が発生する。本研究の目的は紫外線の照射により放電開始のジッタを解決することである。

2. 研究内容・方法

図1に研究に使用した装置の概略図を示す。チャンパー内部にはマスフローコントローラにて Ar を流入させる。直流放電による放電時には図右側の回路を、パルス放電時には図左側の回路を使用する。どちらの場合もチャンパー内のステンレス電極に負の電圧を印加させる。直流放電時には保護抵抗として 10kΩ、100kΩ、1MΩ を使用し、測定する電流レンジを広げた。パルス放電時にはパルスジェネレータにて 1kHz、Duty50% のパルスを 10 フェーズのみ入力した。エキシマランプを使用する場合にはチャンパー上部に取り付けた石英窓よりチャンパー内部に向け照射する。

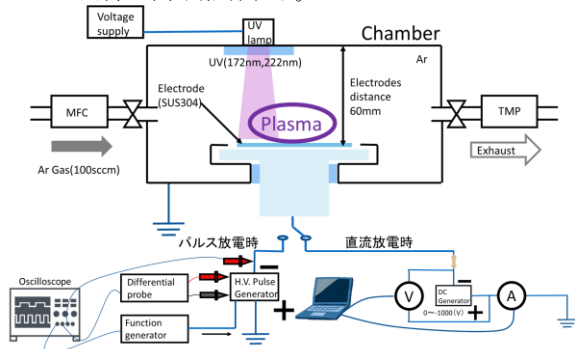


図1 実験装置概略図

直流放電ではチャンパー内部の圧力を真空、10Pa、20Pa、50Pa、100Pa、500Pa、1000Pa と変化させた。エキシマランプの照射の有無による電流電圧特性を測定し、まとめることでエキシマランプの照射効果を確認する。パルス放電ではエキシマランプの有無による放電への影響を測定する。

3. 結果

直流放電により得られた電流電圧特性の圧力依存性について図2に示す。UV なしでは 10^{-5} A 以下の範囲で非持続放電であった。一方 172nm の紫外線を照射した際には、低い電圧から連続して上昇する電流が観測された。初期電子によるイオンの電離が安定して行われたためである。したがって 10^{-5} A

下の範囲はタウンゼント放電である。 10^{-4} A 以上の範囲では、いずれの圧力も UV なし条件と酷似した。真空条件では先行研究[3]と同様に約 10V までは増加し、その後は印加電圧と関係なく一定の $0.5\mu\text{A}$ の光電子電流が確認された。エキシマランプの照射によって低電圧の際の放電が連続となった。

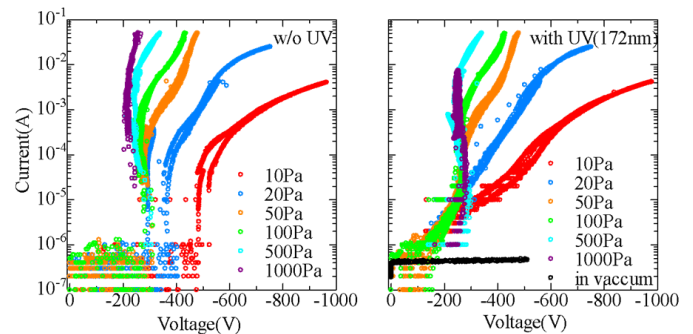


図2 電流電圧特性の圧力依存性

(a)UV なし (b)172nmUV

続いてパルス放電により得られた電流、電圧波形を図3に示す。UV なし(a)の場合、4ms 遅れて放電が開始された。同様に図3.24では数msの遅れ、または放電が開始されなかった。したがって放電開始のジッタは数~10ms であると分かる。(b)222nmUV、(c)172nmUV、いずれも1発目のパルスから遅れることなく放電が開始された。しかがってmsオーダーではジッタが解消されたことが確認された。

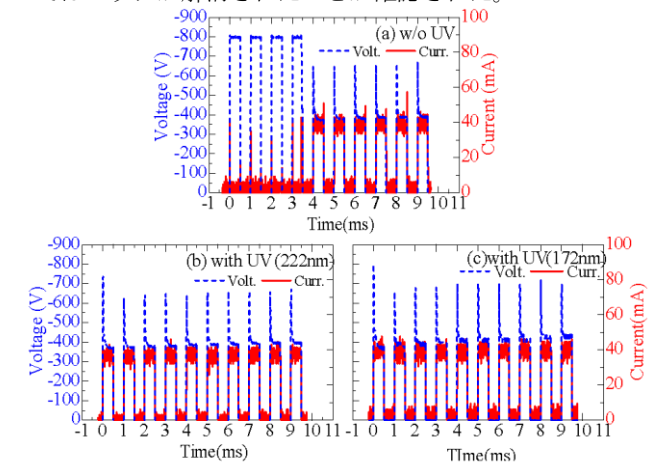


図3 パルス放電による電流、電圧波形

(a)UV なし (b)222nmUV (c)172nmUV

4. 結論

紫外線の照射により、低圧気体中における直流放電では低い電流域で持続的なタウンゼント放電が確認された。また真空中では紫外線による光電子放出が確認された。紫外線の照射がない状態では遅れが生じていたパルス放電の放電開始が、紫外線の照射によって遅れとジッタが解消された。

参考文献

- [1] A. Schutze, J.Y. Jeong, S.E. Babayan, J. Park, G.S. Selwyn, R.F. Hicks, "The Atmospheric-Pressure Plasma Jet: A Review and Comparison to Other Plasma Sources", IEEE Trans. Plasma Sci. 26, 1685, (1998).
- [2] 犬塚直夫 ダイアモンド薄膜 - 非平衡状態からの出発 (共立出版 1990年)
- [3] Meng Yang Formation of Diamond-Like Carbon Films by Photoemission-Assisted Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition(2013)