

ラジカル生成に関するパルスコロナ放電の放電波形特性

学生証番号 66216 氏名 豊田 和彦
(指導教員 小野 亮 准教授)

Key Words: Primary Streamer, Secondary Streamer, Pulse Width, Radical

1. はじめに

大気汚染物質の除去方法として、注目されているのが非熱平衡プラズマである。非熱平衡プラズマによって生成されるラジカルが高い化学反応性を持つために、さまざまな応用がされている。その中で、低圧状態で使用されているものは、真空装置など装置自体が大型化してしまう。もし非熱平衡プラズマを大気圧で使用することが可能ならば、真空装置などの装置が必要なくなり装置の小型化やコストの削減につながる。しかし、大気圧下での気体の反応過程がまだまだ不明な点が多いため、この技術を応用する上で障害となっている。

本研究室では、放電による大気圧非熱平衡プラズマのラジカル計測を中心に研究を行ってきた。その研究の中で、酸素原子ラジカルは放電のパルス幅が短いと生成効率が良いことや、一次、二次ストリーマで異なるラジカルを生成することが判明した。このように、ラジカルは放電の異なる時間領域で生成されていることがわかった。つまり、放電のパルス幅を上手く制御することができれば、特定の物質のみを生成することが可能になり、放電による装置のエネルギー効率を高めることができる可能性がある。

修士論文では、放電波形による様々なラジカル生成効率の測定を目的とし、測定に必要な放電電源の製作および、ラジカル計測を行い、放電のどの時間領域でラジカルの生成が行われているかを調べた。

2. 放電回路

放電を発生させる放電回路を Fig.1 に示す。この回路では、高電圧直流電源からコンデンサに電荷をためる。その後、スパークギャップをオンにすることで、コンデンサにたまっていた電荷を放出させ、リアクタ内に放電を発生させる。実験では、放電電極に並列につながっている R を変えることで、放電のパルス幅を変化させる。この R の値を変えたときの電圧波形を、Fig.2 に示す。並列抵抗が大きくなればなるほど、電圧波形のパルス幅が大きくなっていることがわかる。

3. ストリーマ状コロナ放電の挙動観測

針平板電極のような不平等電解中で発生させる放電をコロナ放電という。コロナ放電では、電圧を上げてある一定以上になると、火花放電と呼ばれる強く発光する放電に変わる。この火花放電よりもやや低い電圧では、ストリーマ放電と呼ばれる樹枝状に広がる放電となる。実験では、このストリーマ状コロナ放電を用いる。

このストリーマ状コロナ放電の進展を ICCD カメラで撮影した画像を Fig.3(a), (b)に示す。(a)の画像は、ICCD カメラの露光時間を $2\mu\text{s}$ にして放電全体の進展を、(b)の画像は、 5ns にして放電の瞬間的な進展を撮影したものである。(b)にある各数値は、放電開始から何秒後かを表している。実験条件として、背景ガスは窒素、電圧は 28.5kV 、針電極は一本にした。(a)の画像を見ると、放電が平板に向かって樹枝状に広がりながら進展しているのが分かる。

これがストリーマ状コロナ放電である。次に(b)の画像を見ると、針からたくさんの粒状の塊が平板に向かった後、針から平板を筋状に結ぶ放電が確認できる。この粒状の放電形態を一次ストリーマと呼び、その後続く筋状の放電形態を二次ストリーマと呼ぶ。この一次ストリーマと二次ストリーマは異なる性質を持っていることが報告されている。

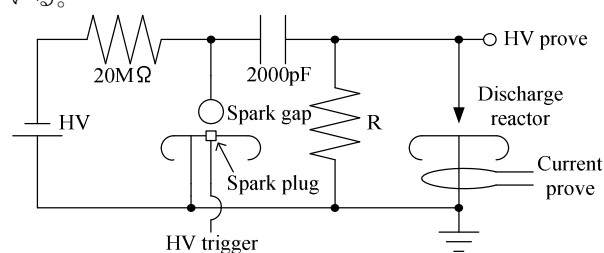


Fig.1 放電回路

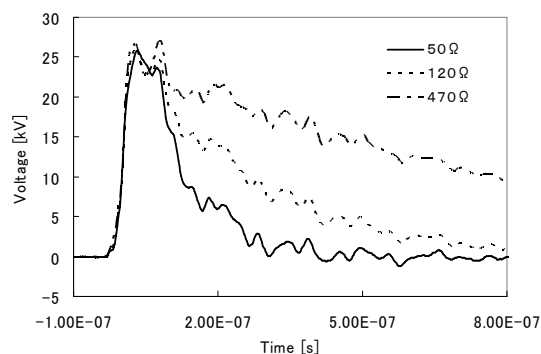


Fig.2 並列抵抗を変えたときの電圧波形の例

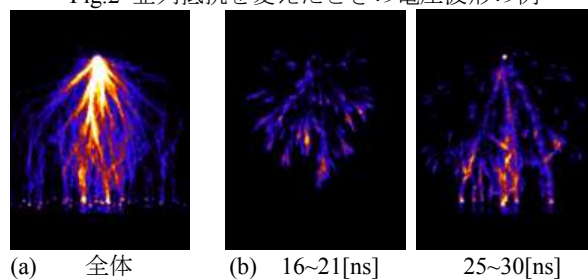


Fig.3 ストリーマ状放電の進展

4. 並列抵抗によるラジカルの生成量

上記にあるストリーマ状コロナ放電を用いて、ラジカルを発生させる。ここでは、並列抵抗によって放電のパルス幅を変え、放電によるラジカルの生成量を調べた。測定方法として、 $\text{N}_2(\text{C})$, $\text{NO}(\text{A})$, $\text{OH}(\text{A})$ は発光計測、 O_3 は吸収法、 $\text{OH}(\text{X})$ は LIF 計測を用いて調べる。その中で、 $\text{N}_2(\text{C})$ と $\text{OH}(\text{A})$ の生成量を調べた結果を Fig.4, 5 にそれぞれ示す。 $\text{N}_2(\text{C})$ では、並列抵抗が小さいつまり放電のパルス幅が短いほど、生成効率が良いことが分かった。この傾向は、 O_3 , $\text{NO}(\text{A})$, $\text{OH}(\text{X})$ も同じようになっていた。しかし、 $\text{OH}(\text{A})$ に関しては Fig.5 にあるように、放電エネルギーに対して

比例するように生成量が変わっていたことがわかった。

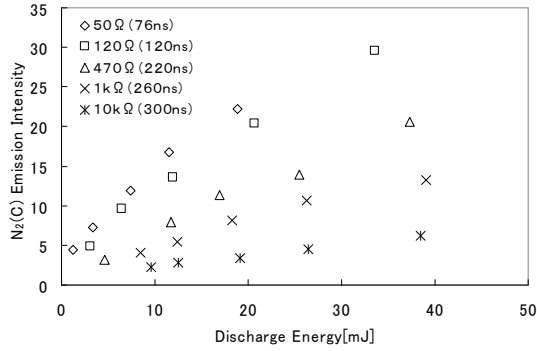


Fig.4 N₂(C)の生成量

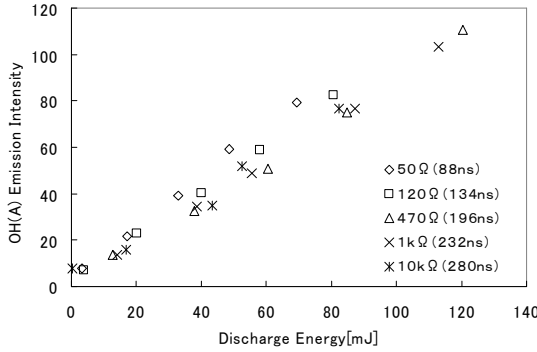


Fig.5 OH(A)の生成量

5. 製作した電源によるラジカル生成量

並列抵抗によって放電のパルス幅を変えた場合、ラジカルが放電のどの時間領域で生成されているかはわからなかった。そこで、放電のパルス幅を任意に変えられる電源を製作した。製作した電源の放電回路を Fig.6 に示す。この回路では、まず Fig.1 の放電回路と同じように放電を発生させる。そして、放電が発生している最中に、SW2 のスパークギャップをオンにして、放電電極に流れている電流を SW2 に流れるようにする。そうすると、電極間に発生していた放電が止まる。このように、SW2 のタイミング次第で放電のパルス幅を調整できる仕組みになっている。製作した電源で、放電のパルス幅を変えたときの電圧波形を Fig.7 に示す。放電のパルス幅が自在に変化していることがわかる。しかし、SW2 を入れた直後にノイズが発生してしまい、これが他の波形にまで影響を及ぼしてしまう。実験では、このノイズ分を含めて計算しているのでも、正確な値よりも誤差を含んだ結果になっている。

この電源を用いて、発光計測による N₂(C) の生成量を調べた。その結果を Fig.8 に示す。この結果を見ると、傾きが急な直線と、傾きが緩やかな直線、横軸に平行な直線の三つからなっていることが分かる。それぞれの時間領域を電圧波形から読み取ると、一つ目の直線の終わりが約 80[ns]、二つ目の直線の終わりが約 160[ns] となっていた。これは、電流波形から放電開始時間を考慮すると、一つ目の終わりが約 20[ns]、二つ目の直線の終わりが約 100[ns] となる。つまり、一つ目の直線は一次ストリーマ、二つ目の直線は二次ストリーマによるものだと予想される。しかし、実際に一次ストリーマしか発生していないかどうかはわからないので、ICCD カメラを用いてそれを調べた。

電圧波形のパルス幅を約 90[ns] にしたときの放電の瞬間画像を Fig.9 に示す。これを見ると、一次ストリーマが平板に達した後に、針先から二次ストリーマを確認することができなかった。このパルス幅では、一次ストリーマしか発生していないことがわかった。このことから Fig.8 で

は、一つ目の直線が一次ストリーマ、二つ目の直線が二次ストリーマによるものだと判明した。

この電源を用いて他のラジカルを調べた結果、NO(A) では二つの傾きを持つ直線で生成され、OH(A) ではほぼ放電エネルギーに比例して生成されていることがわかった。

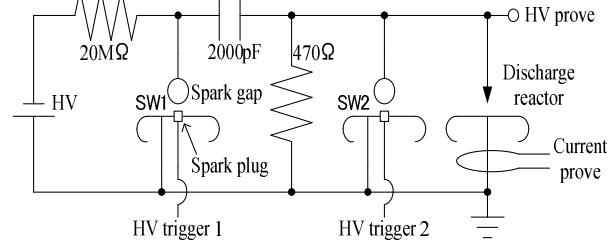


Fig.6 製作した電源の放電回路

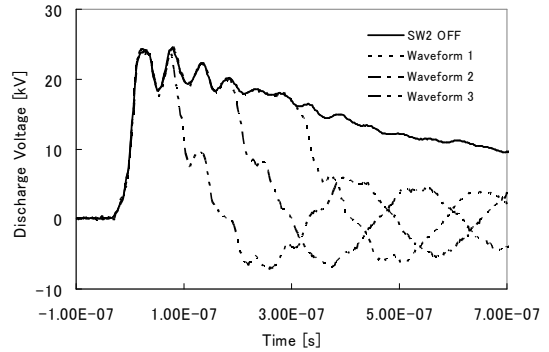


Fig.7 放電のパルス幅を変えたときの電圧波形の例

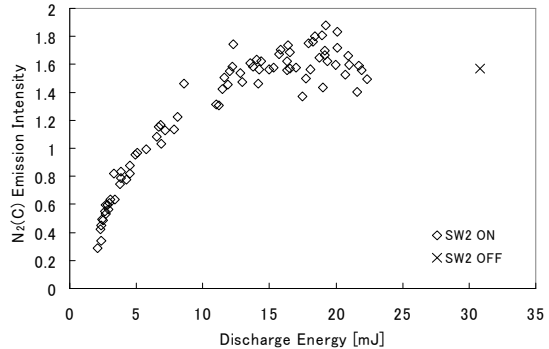


Fig.8 製作した電源による N₂(C)の生成量

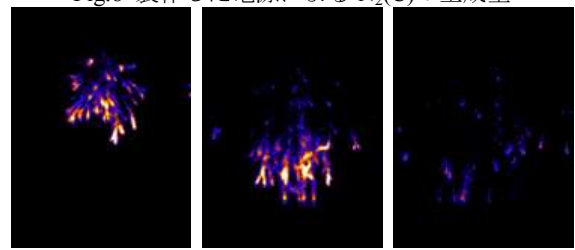


Fig.9 製作した電源によるストリーマ状放電の進展

6. まとめ

本論文での研究結果は以下の通りである。

- ・ストリーマ状コロナ放電における、一次ストリーマと二次ストリーマの挙動を観測した。
- ・ラジカルの種類によって、放電のパルス幅が短ければ短いほど生成効率がよいものや、放電のパルス幅に関係なく放電エネルギーに比例するように生成されるものがあることがわかった。
- ・ラジカルの種類により、放電の時間領域で生成される割合が異なっていることがわかった。