

陰極にターゲット電極を備えた 紫外線レーザトリガ真空ギャップの始動特性

正員 菅原 晃 (新潟大学)

非会員 柳瀬 貴晴 (YKK)

正員 板垣 厚一 (新潟大学)

非会員 伊藤 敬幸 (三菱電機)

正員 佐藤 和憲 (東京電力)

正員 喜多村 博 (新潟工科大学)

Switching Characteristics of UV-Laser Triggered Vacuum Gap with a Metal Target Electrode in the Central Hole of the Cathode Surface

Akira Sugawara, Member (Niigata University), Takaharu Yanase, Non-member (YKK Co.), Kouichi Itagaki, Member (Niigata University), Takayuki Itou, Non-member (Mitsubishi Electric Co.), Kazunori Satou, Member (Tokyo Electric Power Co.), Hiroshi Kitamura, Member (Niigata Institute of Technology)

The switching characteristics of a UV-laser triggered vacuum gap (ULTVG) with a metal target electrode were measured. The gap spacing of the diameter 85-mm copper electrodes was 1.6-mm. The target electrode of the 7-mm in diameter was placed in the hole (8-mm in diameter) of the cathode. The target electrode materials used in this work were Ti and Al. The target electrode and the cathode were connected electrically.

An ultraviolet-pulsed laser beam was perpendicularly focused onto the grounded target electrode. The laser was third harmonic beam of Nd: YAG (wavelength 355-nm, energy 5 mJ/pulse, beam diameter 2-mm).

The operating voltage range for the target electrode ULTVG enlarged more than 11.21 % compared with the copper electrode ULTVG and the switching time, 325 ns at 15 kV, was the same in the case of the copper electrode ULTVG.

キーワード：真空ギャップ，ターゲット電極，紫外線レーザ，スイッチ，動作確率，始動時間，絶縁破壊電圧

Keywords: vacuum gap, target electrode, UV-laser, switch, arc-firing probability, switching time, dielectric breakdown voltage

1. はじめに

真空トリガギャップ (TVG) は、ギャップ長一定の状態で、トリガ放電により、数 kV~数十 kV の広範囲の電圧でパルス大電流を制御できるスイッチ^{(1)~(3)}である。また、主電極間のエネルギー損失が少なく耐電圧特性、電流遮断特性にも優れている。このことから、TVG はインパルス大電流投入用スイッチのみならずクローバースイッチなどとしても使用される。

代表的なトリガ方式としては、電気的トリガ方式とレーザトリガ方式がある。電気的トリガ方式を用いると、トリガ放電により容易にギャップ間の絶縁を破壊し、主放電を開始することができる^{(1)~(3)}。しかし、高電圧側からトリガする場合には、トリガ回路の絶縁が必要である。また、トリガ電流の一部が主回路に流れ込み、主電流立ち上がり部分に重畳する。さらに、トリガ放電のノイズは、しばしば測定器、制御コンピュータの誤作動を引き起こす要因となり、測定精度などが損なわれる原因になることもある。

レーザトリガ方式として、CO₂レーザを用いた大出力の赤外線でギャップ間の気体、または電極材料を加熱蒸発させ、高周波電離等によりプラズマ化させる「レーザ光を用いたギャップスイッチ」が研究・開発された^{(4)~(6)}。以来、レー

ザ自体の発展によりエキシマレーザ、あるいは Nd:YAG レーザの高調波による紫外線の利用や、レーザの特性を生かし光学的分岐による多段同時トリガ方式などの応用面の研究も報告されている^{(7)~(9)}。

レーザトリガ方式のメリットは、

- (1) トリガによるノイズが極めて少ない。
- (2) 主回路電流へのトリガ電流の流れ込みが無い。
- (3) トリガ回路が電気的に絶縁されているため、高電圧電極側からのトリガが容易に行える。

が考えられる。

そこで著者らは、Nd:YAG レーザの3倍高調波(波長355nm)を使用した紫外線レーザでトリガする真空ギャップ (UV-Laser Triggered Vacuum Gap: ULTVG) を試作し、その始動特性を測定した。そして、従来の電気的トリガ方式と比べ、トリガノイズが軽減できることなどを明らかにした⁽¹⁰⁾。

ULTVG の動作原理は、次のように考えられている⁽¹¹⁾。電極にレーザ光を照射することにより、アブレーションが起こり、電極材料が放出される^{(12),(13)}。電極より放出された原子の衝突電離、レーザ光による光電離⁽¹⁴⁾あるいは陰極からの光電子放出された電子との衝突電離などによりプラズマを生成する。このプラズマが十分な放電チャネルを形成

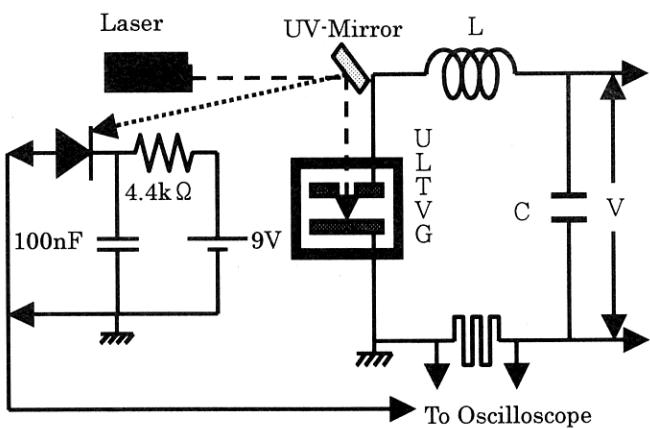


図 1 実験装置の概要

Fig. 1. Experimental setup.

することにより、主電極間が絶縁破壊し、真空アークにより、主回路に電流が流れる。しかし、定量的検討は行われておらず、動作原理の解明は今後の課題である。

著者らの実験した銅とアルミニウム電極の場合、両者の始動時間は同程度であっても、絶縁破壊電圧と始動時間のバラツキ率が異なる。銅電極では絶縁破壊電圧が高いが、始動時間のバラツキ率は小さい。アルミニウム電極では、絶縁破壊電圧が低く、低電圧領域で動作するが、始動時間のバラツキ率は大きい⁽¹⁵⁾。動作電圧範囲が広く、しかも始動時間のバラツキ率の小さい ULTVG を実現するためには、特性の異なる電極材料を組み合わせて使用することが考えられる。

本論文では、銅電極の陰極に、銅 (4.48eV) よりも仕事関数の低いアルミニウム (3.23eV) やチタン (3.45eV) をターゲット電極として組み込んだ ULTVG を試作し、その動作確率と始動時間を実験的に検討した。

その結果、銅単体電極の場合と比較すると、始動時間のバラツキ率は増加するが、始動時間と絶縁破壊電圧は同程度で、低い電圧でも動作することを明らかにした。これまでに、レーザ照射部にメッシュ電極を用いる方法⁽⁸⁾などが考案されているが、著者等の知る限り、主電極に異種金属をターゲットとして組み込んだ例は、報告されていない。

2. 実験装置および方法

図 1 に実験回路の構成図を示す。放電回路は、回路インダクタンス $L=107\mu\text{H}$ と主コンデンサ $C=0.25\mu\text{F}$ による LC 直列放電回路である。

測定回路は、主電流測定回路、印加電圧測定回路およびレーザ光が陰極表面に照射された時刻を検出するための高速光検出器から構成される。主電流波形は同軸シャント抵抗 ($9.7\text{m}\Omega$) により検出し、オシロスコープで観測した。

レーザ光が陰極表面に照射された時刻は、高速光検出器で検出する。図 1 に示すように、レーザ装置から発射されたレーザ光は、ミラー、ウインドウを通り、接地されてい

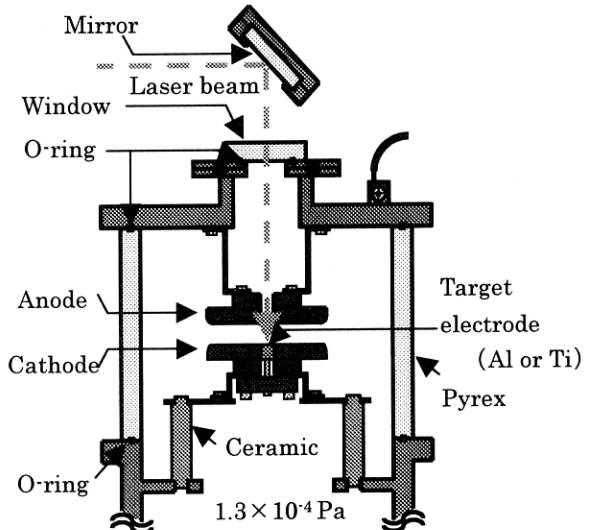


図 2 紫外線トリガ真空ギャップの構造

Fig. 2. Schematic diagram of the test chamber.

る陰極に垂直方向から入射される。電極からの反射光が、同じ経路を戻り、レーザ装置の約 10cm 下方にあたるように調整する。この地点に pin フォトダイオードを配置し、反射光を受け止めることで、高速光検出回路を動作させる。高速光検出回路⁽¹⁰⁾は、pin フォトダイオードをスイッチとして使用し、9V の乾電池、4.4kΩ の抵抗器、100nF のコンデンサで構成される。

ULTVG は、真空トリガギャップとそれを収納する真空容器、真空排気装置およびレーザ装置から構成されている。

図 2 に ULTVG の電極構造を示す。陰極・陽極ともに直径 85mm の、厚さ 10mm の無酸素銅板製で、陰極の中央部にアルミニウムあるいはチタンをターゲット電極として配置した。これを Al あるいは Ti ターゲット電極 (Al Target ULTVG, Ti Target ULTVG) と称する。また、ターゲット電極なしで、銅電極のみで構成されたものを Cu 単体電極 (Cu ULTVG)、アルミニウムのみのものを Al 単体電極 (Al ULTVG) と呼ぶこととする。ターゲット電極は直径 7mm の、高さ 10mm の円柱形であり、陰極中央の直径 8mm の穴にネジで取り付けられている。主電極端部の角は電界集中を防ぐために、面取りが施されている。陽極中心には、レーザ光が通過するための直径 8mm の空けられている。また、陰極は常に接地電位に保たれている。陰極陽極のギャップ長は、1.6mm 一定である。

真空容器は、フランジと絶縁ガラス円筒で構成される。絶縁ガラス円筒は外径 200mm の、内径 160mm の、高さ 150mm のパイレックスガラスを用いる。容器内の真空間度は約 $1.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 一定となるようターボ分子ポンプで常時排気している。

レーザ光を陰極まで誘導するために、上部フランジには UV ミラーとウインドウを配置する。ミラーとウインドウの材質は、いずれも UV grade fused silica であり、UV ミラーの紫外光反射率は 99%，ウインドウの紫外光透過率は

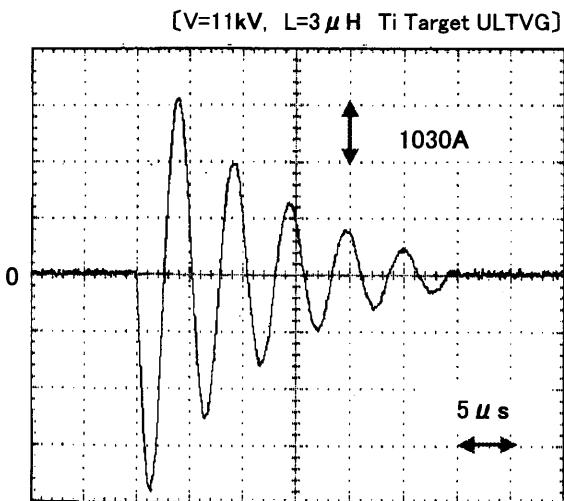


図3 電流波形の一例

Fig. 3. An example of typical waveform of the discharge current

99%以上である。

本研究で使用したレーザ装置は、波長 355nm、パルス幅 4ns、レーザ強度 5mJ、ビーム直径 2mmφ、パワー密度 $4 \times 10^7 \text{ W/cm}^2$ の Nd:YAG レーザの 3 倍高調波の紫外線単発パルスレーザである。

絶縁破壊電圧の測定は、40 回以上の自爆放電によるコンディショニングを行い、絶縁破壊電圧が上昇し安定した後に、10 回の測定の算術平均を採用した。

始動特性は、主コンデンサ C の充電電圧 1~20kV の範囲で、20 秒間隔でレーザを 1 パルス照射して測定する。

<2・1> 動作確率の測定 あらかじめ主コンデンサ、すなわち主電極間に電圧を印加しておき、十分に時間がたってからレーザを照射し、電極間を絶縁破壊する。トリガ動作が成功した場合、主回路には図 3 ($L=3 \mu\text{H}$ の場合の一例) に示すような正弦波減衰振動電流が流れる。失敗したときには、主回路に電流は流れない。正弦波減衰振動電流波形が観測される割合を動作確率として求める。

絶縁破壊電圧より、1 または 2kV 間隔で電圧を下げながら、動作確率の測定を行う。同一の印加電圧で 10 回ずつ行う測定を 1 セットとし、3 セットの平均、すなわち 30 回の算術平均で、動作確率を算出した。

<2・2> 始動時間の測定 レーザ光が陰極あるいはターゲット電極に照射されてから、主電流が流れるまでの時間差を始動時間と呼ぶ。本論文において、始動時間を次のように定義する。

観測波形の一例を図 4 に示す。主電流がゼロレベルから正弦波状に立ち上がり始める時刻（図 4 中の実線）とレーザ光検出波形が立ち上がり始める時刻（図 4 中の破線）との時間差を始動時間とする。

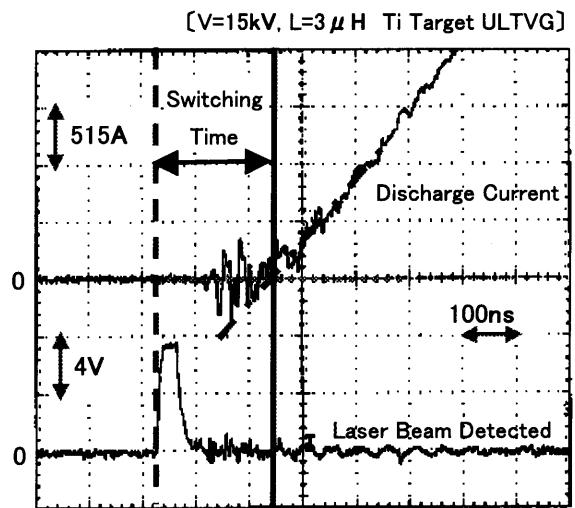


図4 電流波形とレーザ光検出波形

Fig. 4. Typical waveforms of the discharge current and the laser beam detection.

図 4 の光検出波形は、レーザ光や放電による光を電圧に変換しているものではなく、レーザ反射光により pin フォトダイオードが導通状態になった時に発生する電圧波形である。本実験では、この電圧波形の立ち上がり時刻を時刻ゼロとして、始動時間の測定を行った。

動作確率の測定と同様に、絶縁破壊電圧付近から、1 または 2kV 間隔で印加電圧を下げ、動作確率が 50% 程度以上の範囲について、同一電圧で 30 回の測定を行い、その算術平均を始動時間とした。

また、始動時間の偏差は、始動時間が大きいほど大きくなるので、始動時間のバラツキ率を、始動時間（算術平均値） T_s 当たりの標準偏差 σ で表す⁽¹⁰⁾。すなわち、

$$\text{バラツキ率} = \sigma / T_s \times 100 (\%) \quad \dots \dots \dots (1)$$

3. 実験結果と検討

<3・1> 動作確率 ULTVG をパルス大電流投入用スイッチとして使う場合、動作電圧範囲が広いことが望ましい。動作電圧の上限は、絶縁破壊電圧 V_s であり、下限は動作確率ゼロの電圧 V_0 である。動作電圧範囲 R を V_s で規格化し、

$$R = (V_s - V_0) / V_s \times 100 (\%) \quad \dots \dots \dots (2)$$

で定義する。動作確率が 50% の電圧 V_{50} は、ULTVG の動作電圧の目安を示す。例えば、Al 単体電極を使用した Al ULTVG は、絶縁破壊電圧 V_s および V_{50} が低く、低電圧の領域で動作することになる。

図 5 に印加電圧に対する動作確率を示す。図中の曲線は、正規確率紙上で測定点を線形近似して得た。図中の三角形は、それぞれの場合の破壊電圧値を示す。Al および Cu 単体電極とも、印加電圧の上昇とともに動作確率は増加している。また、それぞれの絶縁破壊電圧で印加電圧を規格化すると、これらの曲線はほぼ一致する。

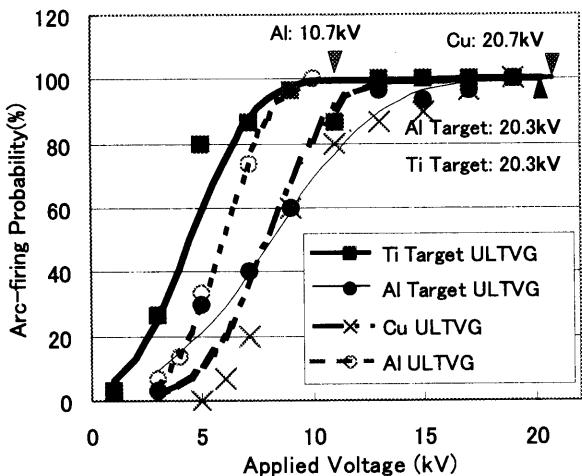


図 5 動作確率特性

Fig. 5. Arc-firing probability as a function of the applied voltages. The voltages in figure are dielectric breakdown voltage.

表 1 動作電圧範囲

Table 1. Range for the working voltages of ULTVG.

ULTVG	Dielectric breakdown voltage V_s (kV)	50% breakdown voltage V_{50} (kV)	0 % breakdown voltage V_0 (kV)	Range for the working voltage R (%)
Cu	20.7	8.0	5.0	75.8
Al	10.7	5.9	2.3	78.5
Al Target	20.3	7.5	2.7	86.7
Ti Target	20.3	4.1	0.6	97.0

ターゲット電極の、動作確率は、Cu 単体電極よりは、高くなっている。また、Ti ターゲット電極の方が、Al ターゲット電極より、さらに高い動作確率を示している。

表 1 に、動作電圧範囲 R を示す。ここで、 V_{50} は、正規確率紙上で線形近似したときに動作確率が 50% を示す電圧で、 V_0 は正規確率紙上で線形近似したときに動作確率が 5% 未満となる電圧値である。

ターゲット電極の場合、単体電極より動作電圧範囲が広くなっている。Ti ターゲット電極の動作電圧範囲は 97% で、一番広い。すなわち、Cu 単体電極よりも、低電圧でも動作すると同時に、動作確率が 80% 以上となる電圧範囲が拡大している。

<3・2> 始動時間 ULTVG と他の装置を連動させて動作させるときには、ULTVG のトリガ入力から主電流の立ち上がりまでの時間遅れ（始動時間）とそのバラツキ率が重要になる。

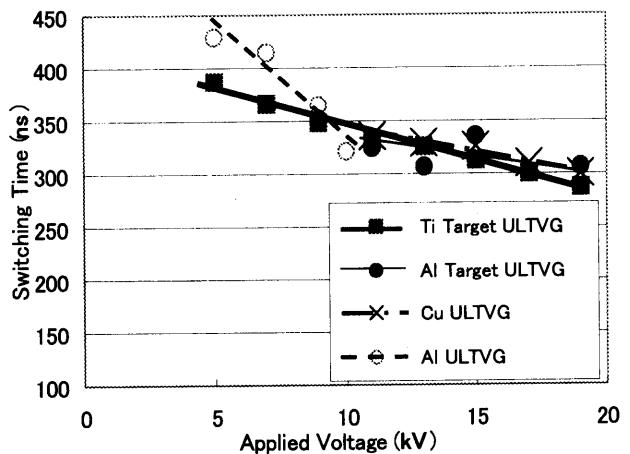


図 6 始動時間特性

Fig. 6. Switching time as a function of the applied voltages.

図 6 に、ULTVG の始動時間特性を示す。印加電圧の増加とともに、始動時間は減少している。Al や Ti ターゲット電極は、Cu 単体電極とほぼ同じ始動時間特性を持っていることがわかる。

従来の電気的トリガによる TVG では⁽³⁾、良好な特性を示す主電圧極性では、始動時間は印加電圧に関係なく 3 から 18kV の範囲で、250ns 程度の一定値を示している。トリガ放電を引き起こすために電極に注入されるトリガエネルギーは文献[3]では 3J 程度で、本研究の ULTVG の 5mJ よりは、1,000 倍程度大きい。

図 7 に、始動時間のバラツキ率を示す。Al 単体と Al ターゲット電極のバラツキ率は、印加電圧に対して 10% から 19% の範囲で大きく変動している。Cu 単体電極のバラツキ率が最も少なくて 7% 程度で、Ti ターゲット電極は 10% 程度である。

<3・3> 単体電極の電極材料の違いによる効果 実験に使用した電極材料の物理的定数を表 2 に示す。Cu 単体電極と Al 単体電極の始動特性の主な違いは、動作電圧範囲と同一の印加電圧における始動時間である⁽¹⁵⁾。

Cu 単体電極の絶縁破壊電圧は 20.7kV で、Al 単体電極では 10.7kV である。銅よりもアルミニウムの仕事関数が低く、電界放出電流が流れやすく、絶縁破壊を起こしやすいと考えられる。

また、Ti 単体電極の絶縁破壊電圧は、Cu 単体電極と同程度である。しかし、レーザ照射後のアーク放電は、電極中心部で維持される場合と主電極周辺部の長い放電経路で発生する場合が同程度の割合で観測された。したがって、Ti は単体電極としては、適していないように思われる。

始動時間は印加電圧 10kV で、Cu 単体電極で 350ns、Al 単体電極で 320ns である。本論文のギャップ長は 1.6mm であり、両者の始動時間の差は少ない。しかし、ギャップ長

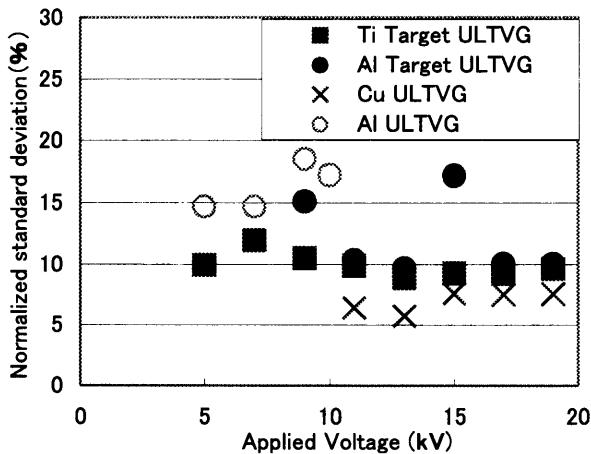


図 7 始動時間のバラツキ率

Fig. 7. Normalized standard deviation of the switching time.

2.2mmにおいては、始動時間の差が顕著に表れる。主コンデンサ $C=0.25\mu F$ 、回路インダクタンス $L=217\mu H$ 、印加電圧 10kV の条件で、Cu 単体電極の始動時間は 430ns で、Al 単体電極は 360ns である⁽¹⁵⁾。

<3・4> ターゲット電極による効果 単体電極に比べ、ターゲット電極の動作確率が増加し、動作電圧範囲が拡大する。始動時間は、いずれのターゲット電極でも同程度である。ターゲット電極の始動時間のバラツキ率は、Cu 単体電極よりは増加する。

動作範囲が拡張された理由は、主電極に Cu を使用したために、絶縁破壊電圧が Cu 電極と同等の 20.3kV となったことによる。さらに、Cu よりも仕事関数が低く（光電子放出量が多い）、原子量の少ない Al あるいは Ti をターゲット電極として採用したことで、ターゲット電極材料のイオンによる初期プラズマが着火材として働き、主放電初期の放電チャネルの形成に寄与したために、低い電圧でも動作したものと思われる。

表 2 電極材料の物理的特性^{(16)~(18)}

Table 2. The physical property of the electrode material.

(*) The values of density, specific heat, and resistivity are at 20°C in temperature.

	Cu	Al	Ti
Work function(eV)	4.48	3.23	3.45
Atomic weight	63.55	26.98	47.87
Melting point(K)	1356.6	933.52	1933
Boiling point(K)	2840	2740	3560
Density(kg/m³) *	8960	2698	4540
Heat capacity(J/K·mol)	24.5	24.3	25.0
Resistivity($\Omega \cdot m$) *	1.67×10^{-8}	2.65×10^{-8}	42.0×10^{-8}
Spectral reflectance(%) (Wavelength λ (nm))	31.5 ($\lambda=347$)	72.3 ($\lambda=431$)	---

Al と Ti ターゲット電極を比較すると、Ti ターゲット電極の動作電圧範囲が広く、始動時間のバラツキ率も少ない。Ti の残留ガス O_2 の吸収量(25°C)は、388.2(Torr 1/g)⁽¹⁹⁾で、Al の 38.6(Torr 1/g)⁽²⁰⁾より 10 倍程度多い。従って、仕事関数が同程度であっても、レーザ照射によって吸収したガスを放出するために、初期プラズマ量が多くなり、低い電圧でも動作するものと考えられる。

アーク放電を繰り返すと、その都度電極の表面粗さが変化する。Al は Ti より電極表面粗さの変化が大きい。このことがターゲット電極表面の局部電界強度を変化させる要因となり、始動時間のバラツキ率を大きくしている原因であると考えられる。

4. まとめ

アルミニウムあるいはチタンを、銅製の陰極中央にターゲット電極として備えた紫外線レーザトリガ真空ギャップを試作して、その動作確率および始動時間を測定した。電極組み合わせは、主電極に銅またはアルミニウムの単体電極、および銅電極の陰極中央にアルミニウムまたはチタンターゲット電極の 4 種類を行った。実験条件は、主電極ギャップ長は 1.6mm、インダクタンス $L=107\mu H$ であった。

本論文により、紫外線レーザトリガ真空ギャップにおけるターゲット電極の有効性を示すことができた。主な項目を以下にまとめる。

- (1) ターゲット電極の絶縁破壊電圧は、20.3kV で、銅単体電極の 20.7kV と同程度であるが、銅単体電極と比べ、より低い電圧でも動作する。すなわち、動作電圧範囲が銅単体電極の 75.8% から、アルミニウムターゲット電極で 86.7%，チタンターゲット電極で 97.0% に広がる。
- (2) ターゲット電極の始動時間は、印加電圧 15kV で 325ns であり、この値は銅単体電極の場合と同程度の値である。
- (3) ターゲット電極の始動時間のバラツキ率は、銅単体電極より増加する。また、チタンターゲット電極のバラツキ率の方が、アルミニウムターゲット電極の場合より少ない。

最後に、本実験に協力された本学の伊藤 告技官に感謝する。

(平成 12 年 11 月 24 日受付, 平成 13 年 12 月 12 日再受付)

文 献

- (1) R. L. Boxman: "Triggering Mechanisms in Triggered Vacuum Gaps", IEEE Trans. Electron Devices, ED-24, 2, p.122-128(1977)
- (2) A. J. Green: "Plasma Buildup and Breakdown Delay in a Triggered Vacuum Gap", IEEE Trans. Plasma Science, PS-7, 2, p.111-115(1979)
- (3) 菅原 晃, ハザイリン サマウラ, 板垣厚一, 喜多村 博: 「両主電極にトリガ電極をもつ真空トリガギャップの始動特性」, 電気学会論文誌 B, 116, 1,

- p.87-92(1996)
- (4) A. H. Guenther, and J. R. Bettis: "A Review of Laser-Triggered Switching", Proceedings of the IEEE, 59, 4, p.689-696(1971)
- (5) U. Ghera, R. L. Boxman, H. Kleinman, and S. Ruschin: "Laser-induced electron source in a vacuum diode", J. Appl. Phys., 66(9), 1, p.4425-4430(1989)
- (6) P. J. Brannon, and D. F. Cowgill: "Low-Jitter Laser-Triggered Vacuum Switch Using a Composite Target", IEEE Trans. Plasma Science, 16, 2, p.325-327(1988)
- (7) H. Damany, and P. Laporte: "Triggering of a vacuum spark source by impact of a low-energy laser beam on the cathode", Rev. Sci. Instrum., 60, 4, p.602-604(1989)
- (8) 草間秀晃, 八木隆志:「KrF エキシマレーザによる光電子トリガーギャップスイッチのトリガー特性とパルスパワーシステムへの応用」, 電気学会論文誌 A, 119, 4, p.443-450(1999)
- (9) 宮崎健作, 工藤喜悦, 三宅信之, 藤原重徳, 川口 澄, 鈴木克巳:「レーザトリガ合成試験始動システムの開発」, 電気学会研究会資料, SP-97-59, HV-97-175, p.73-78(1997)
- (10) 佐藤和憲, 菅原 晃, 伊藤敬幸, 板垣厚一:「紫外線レーザトリガによる真空ギャップの始動特性」, 電気学会論文誌 A, 119, 1, p.44-48(1999)
- (11) H. Chuaqui, M. Favre, E. S. Wyndham, R. A. Rossel, I. Mitchell, and L. Soto: "Observations of plasma dynamics in the vacuum spark", Phys. Plasma, 2, 10, p.3910-3916(1995)
- (12) P. Siemroth, and H. J. Scheibe: "The Method of Laser-Sustained Arc Ignition", IEEE Trans. Plasma Science, 18, 6, p.911-916(1990)
- (13) D. M. Hoffman, B. Singh, and J. H. Thomas: "Handbook of Vacuum Science and Technology", Academic Press, Ch.5(1998)
- (14) 電気学会:「大出力レーザの開発状況と各種レーザの電力技術への応用」, 電気学会技術報告, 第 553 号, p.31-49(1995)
- (15) A. Sugawara, K. Satou, T. Itou, and K. Itagaki: "Effects of Electrode Materials for Arc-firing Probability and Switching Time in UV-laser Triggered Vacuum Gap", High Voltage Engineering Symposium, 5.383.S26(1999)
- (16) 長倉三郎他編:「岩波 理化学辞典 第 5 版」, 岩波書店, p.52, p.839, p.944(1998)
- (17) 望月一郎編:「研究用基礎材料カタログ No.25」, 株式会社ニラコ, p.11, p.40, p.133(1994)
- (18) 飯田修一他編:「新版 物理定数表」, 朝倉書店, p.171(1978)
- (19) 熊谷寛夫, 富永五郎編:「真空の物理と応用」, 嘉華房, p.285(1970)
- (20) 深川修吉:「真空管材料・超真空技術」, オーム社, p.302(1956)

菅原 晃



(正員) 1964 年 11 月 11 日生まれ。1994 年 3 月新潟大学大学院自然科学研究科博士課程修了。同年 4 月新潟大学工学部電気電子工学科助手。97 年 4 月同講師。98 年 11 月同助教授。2000 年 3 月より 1 年間、マサチューセッツ工科大学において客員研究員、現在に至る。博士(工学)。主として、真空トリガギャップの研究、風力・太陽光発電に関する研究に従事。日本物理学会、プラズマ・核融合学会会員。

柳瀬 貴晴



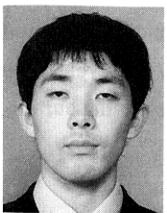
(非会員) 1976 年 6 月 3 日生まれ。99 年 3 月新潟大学工学部電気電子工学科卒業。2001 年 3 月新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了、同年 4 月 YKK 株式会社入社。現在に至る。在学中、主としてレーザトリガ真空ギャップの研究に従事。

板垣 厚一



(正員) 1938 年 4 月 7 日生まれ。62 年 3 月新潟大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月株式会社津上製作所入社。長岡工場に勤務。65 年 1 月新潟大学工学部電気工学科助手、77 年 4 月同大助教授、85 年 6 月同教授、現在に至る。工学博士。主として、真空放電および風力発電の研究に従事。日本風力エネルギー協会、日本雪工学会会員。

伊藤 敬幸



(非会員) 1976 年 3 月 7 日生まれ。98 年 3 月新潟大学工学部電気電子工学科卒業。2000 年 3 月新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了。同年 4 月三菱電機株式会社入社。現在に至る。在学中、主としてレーザトリガ真空ギャップの研究に従事。

佐藤 和憲



(正員) 1974 年 4 月 17 日生まれ。97 年 3 月新潟大学工学部電気電子工学科卒業。99 年 3 月新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了。同年 4 月東京電力株式会社入社。現在に至る。在学中、主としてレーザトリガ真空ギャップの研究に従事。

喜多村 博



(正員) 1931 年 7 月 23 日生まれ。55 年 3 月新潟大学工学部電気工学科卒業。56 年 4 月新潟大学工学部電気工学科助手、62 年 4 月同講師、64 年 8 月同助教授、75 年 4 月同教授、97 年 4 月新潟工科大学教授、現在に至る。工学博士。主として、気中および真空中の放電現象に関する研究に従事。