

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560259

研究課題名(和文) 磁界で制御された真空アークを用いた2種金属イオンの同時発生とイオン源への応用

研究課題名(英文) Simultaneous generation of both anodic and cathodic ions from magnetically controlled vacuum arc discharge and its application to an ion source

研究代表者

柳平 文志 (YANAGIDAIRA TAKESHI)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：10323213

研究成果の概要(和文)：真空中でアーク放電を起こすと、陰極側の金属がイオンとして放出され、これをイオン源として利用できることが知られている。ところが、小電流の放電はきわめて不安定であり、工学的応用は進んでいなかった。本研究では、永久磁石を電極の周辺に配置することで放電を安定化させると同時に、陽極側からもイオンを放出させることに成功した。このため両電極に異なる金属を用いた場合には、2種類の金属イオンを同時に発生することが可能になった。

研究成果の概要(英文)：Vacuum arcs become unstable with decreasing arc current and are hard to sustain for long periods. In this study, magnets are arranged inside and back side of both electrodes. Under strong magnetic field, anode spot is generated even at low current and is effective for sustaining low current arcs.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：電力工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：真空アーク放電、イオン源

1. 研究開始当初の背景

高真空中のアーク放電は、電極金属が蒸発、電離して生成される金属蒸気プラズマで維持されている。またキロアンペア級の大電流アークを除けば、金属蒸気は全て陰極表面上の陰極点から供給され、陽極はプラズマ中の電子とイオンを受け取るだけの働きをする。したがって、真空アークは本質的に陰極金属のイオン源として利用可能であるが、アーク維持のためには常に金属蒸気の供給を必要とするため消弧し易く、小電流高真空アークの工学的応用は進んでいない。金属イオン源

として実用化が進んでいるのは、低真空(低気圧ガス)中のアーク放電を用いた非純金属イオン源である。一方、純金属イオン源としては、大電流パルス放電を用いたローレンス・バークレイ研究所の金属イオン源が実用化されている。また、電子ビームあるいは加熱装置を用いて陽極を加熱し、陽極金属イオンを発生させる方式のイオン源も研究されているが、実用化はされていない。真空アークを用いたイオン源に共通した問題点は、イオンと共にドロップレット(金属微粒子)が発生することであり、このため半導体プロセス

スなどへの応用は進んでいなかった。研究代表者らは、真空アークの維持と不安定性現象の解析、磁界による小電流真空アークの安定化に関する研究に取り組んできた。最近、陽極の背後に強い円板磁石を配置し、陽極表面の中心部に電極軸と平行に強い磁界を加えた結果、プラズマが陽極側で強く収縮し、5 A程度の小電流でもアークを安定して維持できることを見出した。さらに、背後の磁石に加えて陽極内に強い円柱状の磁石を埋め込むと、陰極点と共に陽極の金属が蒸発、電離する陽極点が同時に発生することが分かった。この場合、陽極の一点に集中する電子衝撃によって陽極表面が過熱され、陽極点が発生したと考えられる。このため小電流であっても陰極と陽極から異なる2種類の金属イオンを同時に発生させることができ、その発生量を制御できるという着想に至った。

2. 研究の目的

真空アークの外部から磁界を加えて陰極点と陽極点が共に安定して発生、維持される条件を実験的に明らかにする。

次に、陰極点と陽極点から発生する金属イオンと中性金属蒸気の空間密度を計測しながら両イオンの発生量を制御する方法を検討する。金属イオン源へ発展させることを考えると、金属イオンを電極間の空間から引き出す方法が課題になるので、イオンの引き出しに適する両電極の配置と対応する磁界分布を明らかにする。

3. 研究の方法

圧力 10^{-4} Pa 以下の真空アーク放電について、電極表面に陰極点と陽極点が同時に発生、維持される条件を実験的に明らかにする。この際、電極を外部から加熱するような手段は用いず、電流も30アンペア以下に小さく抑える。磁界については図1に示す放電空間内に600ミリテスラ以下の円盤状および円柱状の永久磁石を単独または複数組み合わせ配置し、磁界の分布と強度を系統的に変えた。

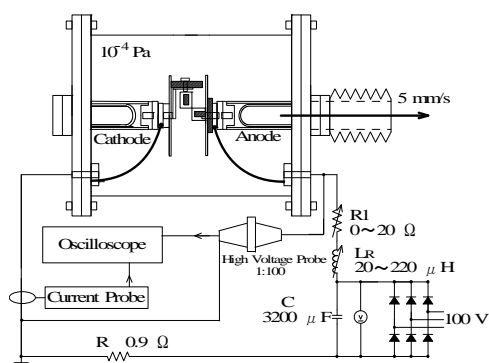


図1：実験装置

4. 研究成果

磁界を加えない場合の真空アーク放電を図2に示す。この場合、金属蒸気は全て陰極表面上の陰極点から供給され、陽極側ではアークプラズマは拡散していることが分かる。次に、陽極の表面部分の磁界が強まる磁場配位(図3)とした場合、陽極点が陽極表面に新たに発生し、柱状のプラズマが安定に維持されることが明らかになった(図4)。また、両電極が同一軸上にない場合でも、磁界分布を図5のとおり調整することで、陰極点および陽極点を同時に発生させながら、プラズマ柱を湾曲させることができた(図6)。陽極として亜鉛を、陰極としてアルミニウムを用いた。このため両電極からそれぞれの金属イオンが放電空間に放出される。陰極点・陽極点から発生する電極物質のうち中性原子、1価イオン、2価イオンに着目し、夫々の電極からの発生量を測定し(図7)、両電極のイオンは磁力線に沿って互いに対向する電極に到達するが、中性原子は対向電極に達するものは少ないことが明らかになった(図8)。このように、磁界を用いることにより小電流でも長時間安定して2種類のイオンを同時に発生でき、イオンと中性粒子が分離されることが分かった。

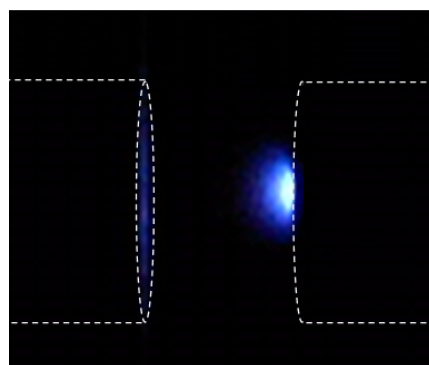


図2：磁界を加えない場合の真空アーク
(左：陽極、右：陰極)

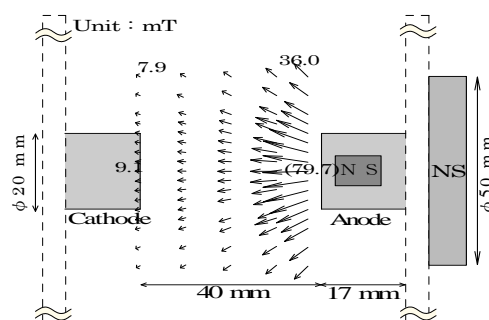


図3：陽極点を発生させるための磁界

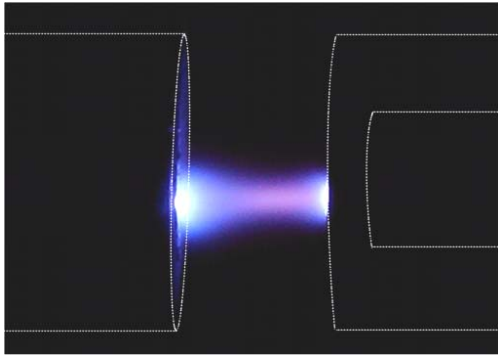


図4：陽極点の発生と柱状プラズマの形成（左：陰極、右：陽極）

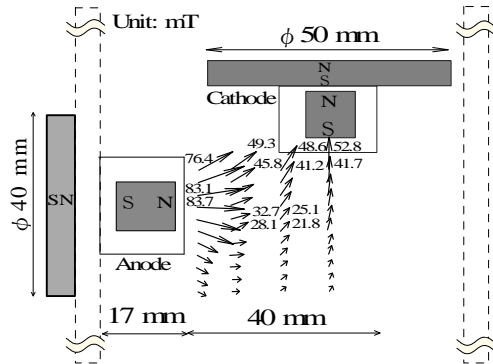


図5：電極が同一軸上にない場合に陰極点および陽極点を発生させるための磁界

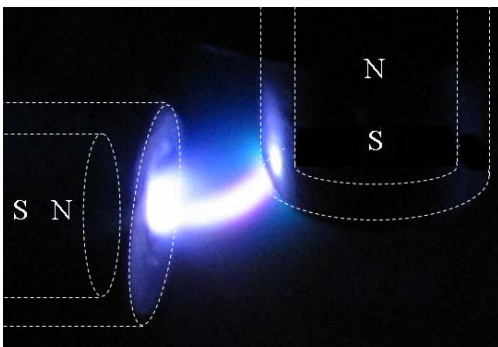


図6：磁界の働きにより湾曲させたアーク柱

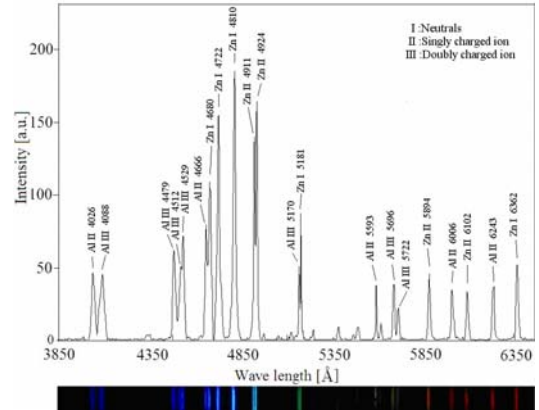


図7：陽極表面での発光分光測定

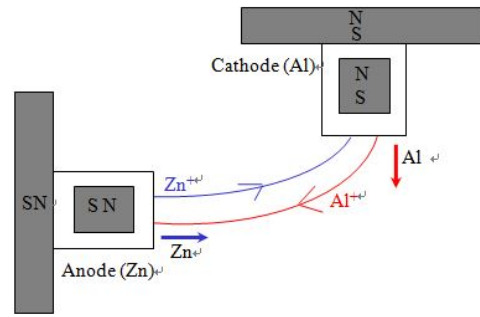


図8：各電極から発生する金属イオンの飛行方向

電極からの飛行方向によるイオン発生量の違いを比較検討した結果、2価のイオンについては、電極軸方向へ向かうイオンの量は、電極軸と垂直方向へ向かうイオンの量と比べて2倍程度であることが分かった。

また、イオンの発生量は、放電開始からの経過時間によっても変化することが分かった。アーク電流の定常成分に対して電流を短時間に変動する成分を加えた場合、多価イオンの割合が高くなり、エネルギーの比較的高い 1.5 keV のイオンが発生した。このことから、電流波形の制御によってイオンの平均的な価数分布およびエネルギーを制御できる可能性があることがわかった。

次に、金属イオン源としての利用を想定し、金属膜の作成を試みた (図9)。イオンが、電極から離れた外部空間へ達する量 (図10) は電極の間隔に影響されるが、電極間隔が電極の直径と同等またはそれ以上の時に両金属からなる金属薄膜の作成に成功した。製膜速度は、湾曲したプラズマの接線方向の

試験片上で早いことが分かった。

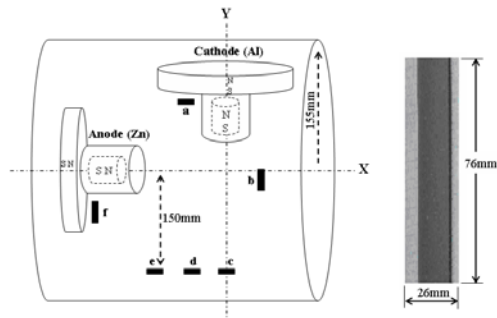


図9：金属イオン利用を想定した試験片の配置

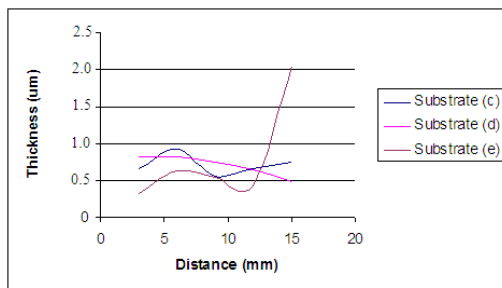


図10：試験片上に製膜された厚み

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

1. Wanninayake Mudiyansele Raj Rasangika Wanninayake, K. Kobayashi, T. Yanagidaira and K. Tsuruta, "Spectroscopic Analysis of the Effect of Magnetic Field on Low Current DC Vacuum Arc Plasma", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 査読有, Vol. 5 (2010) pp. 317-322.

[学会発表] (計2件)

1. Wanninayake Mudiyansele Raj Rasangika Wanninayake, 柳平丈志, 鶴田浩二, "Spectroscopic Analysis of Controlled Arc Plasma in Low Current DC Vacuum Arcs", 平成21年電気学会全国大会, 2009年3月17日, 北海道大学(高等教育機能開発総合センター)

2. Wanninayake Mudiyansele Raj Rasangika Wanninayake, K. Kobayashi, T. Yanagidaira and K. Tsuruta, "Control of Plasma Motion by the Effect of Magnetic Field in Low Current DC Vacuum Arcs", 平成20年電気学会基礎・材料・共通部門大会, 2008年8月21日, 千葉工業大学(津田沼校舎)

6. 研究組織

2008-2009年度：

(1) 研究代表者

鶴田 浩一 (TSURUTA KOICHI)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：40007779

(2) 研究分担者

柳平 丈志 (YANAGIDAIRA TAKESHI)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：10323213

2010年度：

(1) 研究代表者

柳平 丈志 (YANAGIDAIRA TAKESHI)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：10323213