

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目

超臨界状態を含む加圧二酸化炭素におけるナノ秒パルス放電の開始機構に関する研究
(Study on initiation mechanism of nanosecond pulsed discharge in pressurized carbon dioxide including supercritical phase)

熊本大学大学院自然科学研究科 複合新領域科学専攻 衝撃エネルギー科学講座
(主任指導 秋山 秀典 教授)

論文提出者

猪原 武士
(by Takeshi Ihara)

主論文要旨

放電プラズマの新たな生成場として超臨界流体は注目されている。超臨界流体とは、物質の第四の状態と呼ばれ、物質固有の臨界点以上の状態のことを指す。超臨界流体は、液体と気体の中間媒体のような性質を有しており、気体のような拡散性と粘性、液体のような溶解性を示し、「密度ゆらぎ」と呼ばれる粒子分布の不均一性を示すことがよく知られている。数ある物質の中でも、特に超臨界二酸化炭素の産業利用が盛んに行われている。二酸化炭素の特徴として、臨界温度が室温程度と低く、無毒性で安価、大気圧下で気体状態であることなどが挙げられ、これらの点から野菜や果実から特定の成分を選択的に抽出する技術や微細構造の半導体基板表面の洗浄などに用いられている。一方、放電プラズマが、高い化学促進性を有することはよく知られており、排ガスや汚水の処理、オゾンなどの生成にその利用がなされている。超臨界や液中などの高密度領域における放電の開始メカニズムは長年、多くの研究者の興味となっている。しかしながら、放電開始機構が媒質の化学的・物理的特性や電界分布、パルスの立ち上がり時間などの様々な要素が複雑に絡んでいる現象であることから、その機構の詳細な解明には至っていない。

本論文では、超臨界状態を含む加圧二酸化炭素中、不平等電界下におけるパルス放電の開始機構解明を行った。

超臨界状態を含む加圧二酸化炭素中における正極性パルス電圧印加による正ストリーマ放電の開始機構についてシュリーレン法と光電子増倍管を用いて詳細に調べた。パルス上昇時間 40ns、パルス半値幅 (FWHM) 150ns の正極性のパルス電圧は磁気パルス圧縮回路 (MPC) によって生成され、針-平板電極に印加した。超臨界や液体状態などの高密度下におけるストリーマ放電はその開始に伴い電流パルスと放電により発光し、さらにパルス電圧のテールにおいて負性の電流パルスと発光を確認した。また、密度の低下に従って電流パルスと発光の強度は低下傾向を示し、テールにおける負性の電流は見られなくなった。

これと同時に行ったシュリーレン法による正ストリーマ放電の外観の観測では、多くの枝分かれを持ったトリー状のストリーマ放電であることが確認された。開始時に生じる電流パルスをもとに、各密度におけるストリーマ放電の開始電圧を調べた結果、ストリーマ開始電圧は密度の増加に伴い連続的に増加することがわかった。ここで、ストリーマ放電が形成される条件としてストリーマに含まれる電子数が 108 程度であることがよく知られている。ストリーマ放電開始時の電流を用いてストリーマが形成されたときに、ストリーマに含まれる電子数を求めた。超臨界状態から気体状態におけるストリーマ放電に含まれる電子数は約 108 であることが分かった。電流計測によって得られた負性の電流が流れる現象を” Back discharge” と呼ぶ。この Back discharge は、ストリーマが進展した際にストリーマヘッドに生じた空間電荷が形成する電位が電圧の低下する針電極先端との電位差によって、ストリーマ放電のチャンネル中をストリーマヘッドから針電極に向けて起こる放電のことである。この Back discharge の開始電圧を利用して、ストリーマチャンネル内の状態は大まかにガスもしくは疑似ガス (50~200 kg/m³) であることが推測された。

負極性のパルス電圧を印加した際の放電開始の事象について正極性と同様の観測を行った。電圧パルスの極性変換にはパルストランスを用いた。得られた結果を以下に示す。圧力が 6MPa 以下の条件において負極性の放電が開始されるのに伴い負極性の単一の電流パルスが観測された。この電流に伴い針先端において微弱な密度変化が得られた。圧力が 6.8MPa 以上の超臨界や液体状態においては、印加電圧を絶縁設計の最大値まで印加したが電流パルスや発光は観測されなかった。しかし、シュリーレン法によって得られた画像から針先端近傍において密度変化が観測された。負極性の場合、正極性で見られたような枝分かれを持ったトリー状のストリーマ放電は観測されず、コロナ状の放電であった。この密度変化を伴う放電を負性放電の開始電圧として、負性放電の開始電圧の密度依存性を調べた。その結果、臨界密度以下の領域では密度の増加に伴い開始電圧は上昇傾向を示したが、臨界密度以上では飽和傾向を示した。これは、一定の電界強度で放電に寄与する初期電子が負針先端での電界放出によって供給され、放電が開始されることを示唆した。また、放電によって生成されるイオンはパルス放電のような高速の現象では、その移動度からほぼ移動することはなく、イオンによる電界強度の緩和によって単一の負コロナ放電が形成されたことが示された。