

ETL2011

真空放電

中村研究室 石黒雄介

5月27日

1 目的

本実験の目的は、真空、放電についての実験を行い、その原理等を学ぶことである。

2 原理

2.1 真空とは

真空とはどのような状態を言うのか。日本工業規格 JIS では「大気圧より低い圧力の気体で満たされている特定の空間の状態」ということになっている。これは、ある容器の中の空気を何らかの方法で除去して作り出した、空気の希薄な状態ということである。究極の真空はまったく何も存在しない空間だが、我々が地球上で作り出すことのできる真空には、まだ大量に気体が残っている。たとえば、大変な苦勞のもとで実現できる 10^{-12} Pa の真空においても、1L 中に約 10^5 個の気体分子が残っている。しかし、この値は大気圧下では、1L 中に 10^{22} 個のオーダーで気体があることから考えると、大変小さな値であることがわかる。

一般に真空の程度は、圧力によって概ね次のように区分される。

低真空 10^2 Pa 以上

中真空 $10^2 \sim 10^{-1}$ Pa

高真空 $10^{-1} \sim 10^{-5}$ Pa

超高真空 $10^{-5} \sim 10^{-9}$ Pa

極高真空 10^{-9} Pa 以下

真空の程度を表わすために「真空度」という言葉を使うことがある。国際単位系 (SI) ではパスカル ($\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$) で表されるが、真空技術に固有の伝統的な単位 Torr (または mmHg) を用いることもある。 $1\text{Torr}(\text{mmHg})=1.333 \times 10^2\text{Pa}$ である。

2.2 放電

今回用いるのはグロー放電である。グロー放電は低圧（大気圧の100分の1程度）の気体中で生じる持続的な放電現象である。放電が持続的に継続するには、継続的に放電電流が流れなければならない。そのためには、電子が電極から連続的に放出されねばならない。グロー放電では、電極間の電流は正イオンが陰極に衝突して電子を放出する、2次電子放出によるものである。その電子が加速され気体分子を電離し、大きな電流が流れる放電に発展する。グロー放電の構造は気体の種類、圧力、放電管の形状などにより変化する。

高電圧を放電管の両端の電極に接続し、内部の空気を真空ポンプで排気していくと、初めの頃にはなんの変化もないが、排気が進むにつれて微かなピンク色の薄い光の帯が電極間に発生する。更に排気すると、陰極 (cathode) の周辺に暗い部分 (dark space 暗部) が出現し、その幅が次第に増加する。陰極から少しはなれた部分には青みがかかった柔らかな光が発生し、ピンクの光の帯は短くなり変動する。更に排気すると、暗部は拡大し、ピンクの光の帯は短くなり、陽極近辺のみに見られるようになり、最終的には暗い部分 (暗部) だけになる。そして放電管のガラスが緑色の蛍光 (高速の電子がガラスに含まれる不純物原子に衝突して、原子を励起することによる発光) を発するようになる。

放電管の状態は、大気圧の1000分の1程度の圧力にした空気では、発光がほとんど無い暗部と呼ばれる領域 (ファラデー暗部 faraday dark space) とピンク色の薄い光を出して陽光柱 (positive column) といい窒素が励起再結合による発光) と呼ばれる二つの大きな領域に分かれる。

ファラデー暗部は放電に必要な電子を加速する領域で、電子が加速され分子やイオンを励起・電離するにはまだ電子の運動エネルギーが不足している状態である。

その陽極側の部分が陽光柱で、電子と正イオンの数がほぼ同じで、電気的には中性 (プラズマ状態) であり、電子の平均自由行程 (電子が衝突してから次の衝突までの自由に移動できる平均の距離) が長くなり、分子 (窒素) を励起するのに十分な運動エネルギーを獲得できる領域である。

放電電流のほとんどを電子が運び、正イオンは速度が遅いことから電荷の移動にはほとんど寄与せず、多くの電子は陽光柱の中心部分に多く存在する。ここでは、電子と衝突し、正イオンは再結合することから、陽光柱の外側のガラス管に近い部分に集中し、プラズマを包み込んでいる (プラズマ・シェル) 状態になり、電気的な中性を維持する働きがある。

2.3 放電管

2.3.1 ガイスター管

ガイスター管 (Geissler tube) は1857年に物理学者であり、ガラス細工の技術者であったハインリッヒ・ガイスターが発明した、減圧したガラス管に電極を設けて放電実験に用いるもので、ネオン管や蛍光灯の先駆けになった。

ガイスター管は、低圧のガスを封入したガラス管の両端に電極を設け、高電圧を加えることで放電させるものである。ガス圧が十分低下すると、放電が発生し、ガイスター管は明るく輝き始める。輝く色はガラスの含有物、ガスの種類、ガスの圧力で異なる。放電の様子から概略の真空度を推定するのに用いられるほか、教育用の実験に用いられる。当時の科学界にインパクトを与え、改良された放電管は電子の発見や X 線の発見につながっていくことになった。

ガイスター管は真空計としても使用される。真空計としてのガイスター管は圧力を正確に測ることはできないが、一部の真空装置では、高真空に排気するため主ポンプとして拡散ポンプを使用して副ポンプにロータリーポンプを組み合わせた場合に油拡散ポンプの作動圧力領域を計るための簡易真空計として使用される。

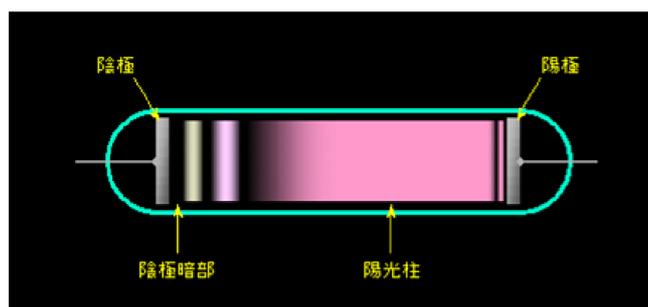


図 1: グロー放電

2.3.2 ネオン管

ネオン管 (ネオンかん、neon tube) とは、ガス放電管の一種で、封入ガスとして100 ~ 1,000Pa (0.001 ~ 0.01 気圧) のネオンガスを用いたもの。冷陰極低圧放電灯でもあるために冷陰極管とも似た特性を有する。ネオンガス中のグロー放電に認められる陽光柱および負グローの橙赤色の発光現象を利用し、各種照明器具や表示用に用いられることが多い。

一般に、特にネオンサインなどの表示用途において、封入ガスとして水銀、ヘリウム、窒素を用いたり、管内壁に蛍光物質を塗布するなどして様々な光色を得られるようにした各種ガス放電管も便宜上ネオン管と呼ばれ、蛍光灯のガラス管を着色し、あるいは適宜蛍光物質を調製した蛍光サイン管もこれに含まれることが多い。

3 実験方法

3.1 ガイスター管の製作

1本のガラス管をバーナーで熱しながら加工することによって製作する。詳しいつくり方については、実験時に解説する。

3.2 放電実験

先に製作したガイスター管に真空ポンプをつなぎ、真空を引く。その後、電極に5~10kV程度の高電圧をかけ、放電させる。真空度が変化すると放電の様子がどのように変化するかよく観察する。

3.3 おまけ

ガイスター管が放電する事を確認したら、ガス(アルゴン)を導入し、放電の様子がどう変化するか観察する。

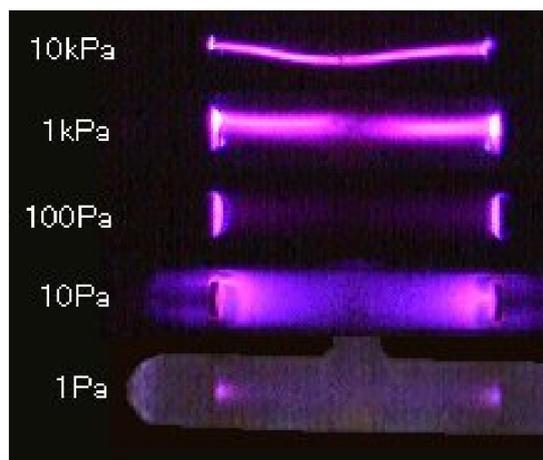


図 2: 真空度による放電の違い