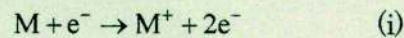


問題 F

図1に示すように、陽極に正の電圧 V が印加されたギャップ長 d の平行平板電極における電子なだれの成長を考える。電極間は分子 M からなる負性気体で満たされている。陰極表面に原点を置き、陰極から陽極に向けて x 軸を取る。電極は十分大きく端部効果は無視できるものとする。

電極間において電子 e^- は陽極へと電界ドリフトにより速さ $\mu_e V/d$ で移動する。ここで μ_e は電子の移動度を表す定数である。1個の電子が陽極に向かって微小長さ dx 移動するときに分子 M と衝突し、



のように、一価の正イオン M^+ と新たにもう 1 個の電子を衝突電離により生成する確率は αdx である。同様に 1 個の電子が陽極に向かって dx 移動するときに分子 M と衝突し、



のように、一価の負イオン M^- を電子付着により生成する確率は ηdx である。ただし $\alpha - \eta > 0$ とする。これらの反応により生じた正イオン M^+ 、負イオン M^- はそれぞれ陰極および陽極へと電界ドリフトにより速さ $\mu_i V/d$ で移動する。ここで μ_i はイオンの移動度を表す定数であり、 $\mu_e \approx 1000 \mu_i$ である。

以下の問に答えよ。電気素量を e とし、電離や付着により生じた荷電粒子による電界の変歪は無視できるものとする。

- (1) 時刻 $t=0$ において $x=0$ の陰極表面より、 N_0 個の初期電子が放出された。電子の集団は衝突電離反応や電子付着反応によりその総数を変化させながら陽極方向へと進む。これを電子なだれという。電子の集団が陰極から x の距離に達したときの電子の数を $N_e(x)$ 、それまでに生成された正イオン M^+ および負イオン M^- の数をそれぞれ $N_p(x)$ 、 $N_n(x)$ として、 $N_e(x)$ 、 $N_p(x)$ 、 $N_n(x)$ が満たす微分方程式 3 つを求めよ。
- (2) 問(1)で求めた微分方程式を解き $N_e(x)$ 、 $N_p(x)$ 、 $N_n(x)$ を求めよ。
- (3) 正イオン M^+ が陰極に衝突すると 1 個の正イオンあたり γ の確率で新たな電子を陰極から放出させる。これを二次電子という。この二次電子の総数を求めよ。
- (4) 二次電子は新たな電子なだれに成長する。タウンゼント理論では、放電開始の条件は持続的な電子なだれの発生である。この放電開始条件式を求めよ。
- (5) ここで簡単のため問(3)(4)と異なり、 $\eta=0$ 、 $\gamma=0$ とし、負イオン及び二次電子による後続の電子なだれの影響は考えないものとする。図1中の電流モニタ A で観測される電流は、電子による電流 I_e と正イオンによる電流 I_p の二つの成分の和である。 I_e および I_p を時刻 t の関数 $I_e(t)$ 、 $I_p(t)$ として求め、それぞれの概形をグラフに描け。

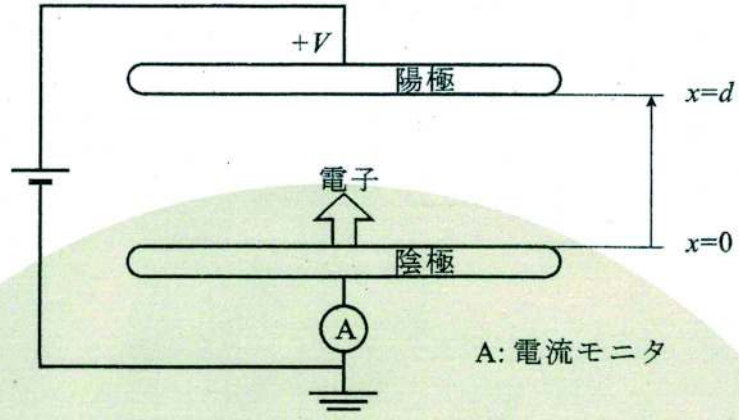


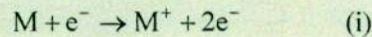
図 1

和

Problem F

Consider the growth of an electron avalanche between parallel-plate electrodes as shown in Fig. 1. The gap length is d , and a positive voltage V is applied to the anode. The gap is filled with an electronegative gas material made of molecule M . The origin is located on the surface of the cathode, and the x axis directs to the anode. The electrodes are infinitely large. Ignore the edge effect.

In the gap, an electron e^- drifts to the anode with the speed of $\mu_e V/d$, where μ_e is a constant corresponding to the mobility of an electron. When an electron travels a small distance dx toward the anode, the collisional ionization



occurs with the probability of αdx , where the molecule M is divided into an electron and a monovalent positive ion M^+ . In the same manner, when an electron travels a small distance dx toward the anode, the electron attachment



occurs with the probability of ηdx , where the molecule M turns into a monovalent negative ion M^- . Here, $\alpha - \eta > 0$. The generated ions M^+ and M^- drift to the cathode and anode, respectively, with the speed of $\mu_i V/d$, where μ_i is a constant corresponding to the mobility of an ion and $\mu_e \approx 1000\mu_i$.

Answer the following questions. Denote the elementary charge by e , and neglect the field distortion by charged particles generated in the ionization and the attachment mentioned above.

- (1) Electrons, whose number is initially N_0 , are emitted from the cathode at $x=0$ at time $t=0$. These electrons drift to the anode changing their number through the collisional ionization and the attachment. This is called an electron avalanche. Let $N_e(x)$ be the number of electrons when they travel the distance x from the cathode and $N_p(x)$ be the total number of positive ions M^+ generated by this time, and $N_N(x)$ be that of negative ions M^- . Show the three differential equations which $N_e(x)$, $N_p(x)$, and $N_N(x)$ satisfy.
- (2) Solve the differential equations derived in Question (1), and obtain $N_e(x)$, $N_p(x)$, and $N_N(x)$.
- (3) When a positive ion hits the cathode, a new electron, which is called a secondary electron, is emitted from the cathode with the probability of γ . Find the total number of the secondary electrons.
- (4) The secondary electrons grow into subsequent electron avalanches. According to Townsend theory, the inception condition of electrical discharge is the formation of sustainable electron avalanches. Find the expression for the inception condition of electrical discharge.
- (5) Here, unlike Questions (3) and (4), suppose $\eta=0$ and $\gamma=0$ for simplicity, where the influences of negative ions and subsequent avalanches by secondary electrons are ignored. The

current observed with the current monitor A in Fig. 1 is the sum of the current I_e carried by electrons and the current I_p carried by positive ions. Find the expressions of I_e and I_p as functions of time t , and sketch the graphs of $I_e(t)$ and $I_p(t)$.

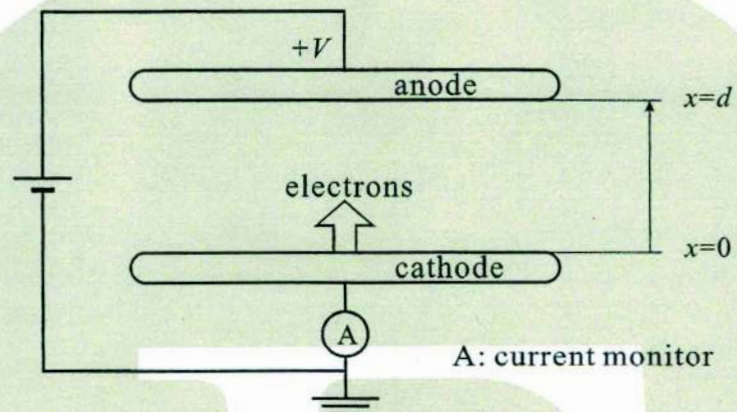


Fig. 1