

PLASMA PHÓNG I N KHÍ

M u :

- Trong i u ki n bình th ng, m i ch t khí th c t không d n i n, chúng là ch t cách i n. Nh ng nhi t đ cao, hay trong đi n tr ng r t m nh, thì tính ch t c a ch t khí thay i c n b n: nó b ion hoá và d n i n. Khi b ion hoá, các nguyên t và các phân t khí trung hoà v i n s m t i m t ph n electron và tr thành ion d ng. Ch t khí b ion hoá ó g i là plasma.
- S phóng i n trong ch t khí s t o ra plasma khí. Tr ng thái plasma khí c duy trì nh n ng l ng to ra t dòng i n phóng qua plasma. N u b lo i b i n tr ng ngoài i thì plasma khí bi n m tr t nhanh, nó s tr thành ch t khí bình th ng. Quá trình này c g i là s tái h p c a ch t khí.
- S phóng i n trong ch t khí c ph n thành hai nhóm l n: s phóng i n ph thu c và s t phóng i n.

I. S phóng i n ph thu c :

1. nh ngh a :

- S phóng i n ph thu c là s phóng i n mà tính d n i n c a ch t khí c duy trì nh nh ng y u t ion hoá bên ngoài (bu ng ion hoá). Các ion và electron t do c t o ra, đ i tác đ ng c a i n tr ng, s chuy n ng có h ng, và sinh ra dòng i n

2. Các ph ng pháp ion hoá ch t khí :

- Có hai ph ng pháp chính ion hoá ch t khí b n gphw ng t i n bên ngoài i v i s phóng i n ph thu c s ion hoá do nh h ng c a nhi t đ và do tác đ ng c a b c x .

• *Nhi t ion hoá*

- Theo quan i m nhi t ng, có th phân bi t plasma cân b ng và plasma không cân b ng. Trong h cô l p, khí plasma tr ng thái cân b ng v i môi tr ng bao quanh (nh trên các vì sao) thì ng n ng trung bình c a t t c các h t là b ng nhau. Vì v y plasma cân b ng là plasma ng nhi t có th t n t i mà không c n l y thêm n n gl ng t bên ngoài. Tuy nhiên, trong i u ki n phòng thí nghi m, kích th c plasma r t b gi i h n. M t cách chính xác, không bao gi nh n c plasma cân b ng nhi t.
- Trong th c t , luôn luôn có m t s h t i n t ng và c c phóng i n. Nh ng h t này ã mang n ng l ng ra kh i th tích plasma.
- V i quan i m nhi t ng thì i u ó có ngh a là h không b cô l p, mà ã t ng tác v i môi tr ng bao quanh. Trong tr ng h p này a n s b t ng nhi t.
- Nh v y, plasma phóng i n khí luôn luôn là plasma b t ng nhi t. Vì r ng các h t i ra kh i th tích èuman theo n ng l ng, nên c n bù vào s n ng l ng ó, hay nói khác i, plasma t nó s bi n m t. Có th duy trì plasma b t ng nhi t b ng cách cung c p n ng l ng cho nó.

• *S phóng i n khí*

- Thay vì vậy, phóng điện khí chất nóng khi có trường ngoài - trường điện xung hay cao tần. Nhưng ion và electron gia tốc trong nhúng trường đó, và như vậy, chúng có khả năng ion hoá phân tử và nguyên tử trung hoà.
- Plasma bắt đầu hình thành không thể có trung hoà điện hoàn toàn. Nhưng thường phá vỡ trung hoà điện đó không lâu. Vì vậy, ta gọi plasma bắt đầu hình thành là plasma gần trung hoà và xem điều kiện gần đúng:

$$\sum Z_i n_i - n_e = 0$$

- Điều kiện gần trung hoà là một trong những điều kiện cần của plasma
- Tính gần trung hoà chính là gần trung hoà về điện trung bình trong một thể tích lớn và sau một khoảng thời gian lớn.
- Nếu quá nóng chất khí, thì các phân tử của nó thu được một năng lượng lớn. Năng lượng này có thể gây ra sự ion hoá chất khí.
- Nhiệt độ là chỉ số để đánh giá năng lượng trung bình của hạt. Nhiệt độ nhiệt độ xác suất kích thích và ion hoá do va chạm giữa các hạt năng lượng khác nhau.
- Quá trình này diễn ra trong khí có thể kích thích và có thể ion hoá thành plasma, đặc biệt trong kim loại kiềm.

Ví dụ: Cs ($V_i = 3.88$ volt), áp suất torr, $T = 3.10^3$ K, bậc ion hoá ~50%

- Về nhiệt độ ion hoá, luôn có quá trình nghịch xạ ra. Đó là quá trình tái hợp.
- Vận tốc ion hoá:

$$\eta_j = k_1 n_0 n_e^2$$

Vận tốc tái hợp:

$$\eta_2 = k_2 n_i n_e^2$$

- **Quang ion hoá:**

- Sự tách nguyên tử và phân tử khí thành các electron và ion dưới tác động của bức xạ có liên quan ion hoá.
- Không phải bức xạ nào cũng có khả năng gây ra sự ion hoá chất khí. Quang ion hoá chất khí có thể xảy ra dưới tác động của ánh sáng có bước sóng ngắn hơn hoặc bằng ngưỡng bức xạ ion hoá.

$$h\nu \geq eV_i \quad (V_i: \text{thế ion hoá})$$

$$\Leftrightarrow \lambda(A^0) \leq 1,234.10^4 / V_i(\text{volt})$$

- Điều kiện để có sự ion hoá:

$$E = mv^2/2 = h\nu - eV_i$$

$\lambda > \lambda_b$: quang ion hoá không xảy ra một cách trực tiếp vì năng lượng bức xạ thấp hơn ngưỡng.

- Khi chiếu bức xạ sóng ngắn (Röntgen hay Gama) lên khí, do bức xạ có năng lượng lớn, nên quang ion hoá xảy ra với cường độ lớn.

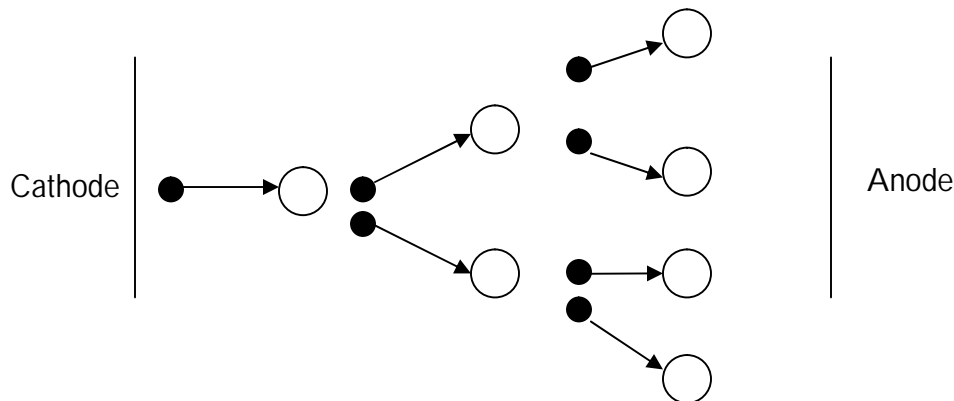
II. Sự phóng điện:

1. Sự phóng điện:

- Sự phóng điện là sự phóng điện trong chất khí mà tính dẫn điện của duy trì bằng chính sự phóng điện của bản thân chất khí, không cần sự tham gia của nguồn bức xạ bên ngoài.

2. Sự phóng điện:

- Không khí luôn có một lượng electron nào đó. Dưới tác động của ánh sáng mặt trời hai nguyên tố kim loại xảy ra sự phát xạ electron từ bề mặt của chúng. Các electron bay nhanh va chạm với các phân tử khí trung hòa, các phân tử này sẽ phân chia thành các electron lần thứ hai và các ion dương. Quá trình ion hoá cứ tiếp diễn lên theo cấp số nhân và theo tính toán gần đúng thì lượng "tổng cộng"



- Các ion bay tới và chạm vào cathode làm tách các electron ra khỏi cathode để qua trình tiếp tục electron.
- Tổng số electron ở Anode:

$$n = n_0 \exp(\alpha d) / (1 - \gamma (\exp(\alpha d) - 1))$$

α : hệ số phát xạ electron

3. Tính chất phóng điện lấp:

Xét sự tạo thành ion:

- Tính chất ion thoát ra khỏi K, sau khi đi qua một tầng dynode, ion hóa chất khí với hệ số ion hóa α , ta có $(e^{\alpha d} - 1)$ ion được sinh ra và có $e^{\alpha d}$ ion tới anode.

- $(e^{\alpha d} - 1)$ ion này chuyển động về K \rightarrow có $\gamma(e^{\alpha d} - 1)$ ion thứ cấp sinh ra và γ là số ion phát xạ từ bề mặt kim loại. Các ion này chuyển động về A và tiếp tục ion hóa chất khí.

- Khi đó, sẽ có $\gamma(e^{\alpha d} - 1)e^{\alpha d}$ ion tiếp tục lên A. Như vậy, ta có số ion thứ cấp sinh ra:

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1)e^{\alpha d} - \gamma(e^{\alpha d} - 1) = \gamma(e^{\alpha d} - 1)^2$$

- $\gamma(e^{\alpha d} - 1)$ ion tiếp vào K \rightarrow có $\gamma^2(e^{\alpha d} - 1)^2$ ion thứ cấp sinh ra.

- Vậy có $\gamma^2(e^{\alpha d} - 1)^2 e^{\alpha d}$ ion tiếp lên A.

\Rightarrow Như vậy, tổng số ion tới anode do tính chất khuếch tán thoát ra từ K là:

$$e^{\alpha d} \{1 + \gamma(e^{\alpha d} - 1) + \gamma^2(e^{\alpha d} - 1)^2 + \dots\} = e^{\alpha d} \{1 + \mu + \mu^2 + \dots\} = \frac{e^{\alpha d}}{1 - \mu}$$

Với $\mu = \gamma(e^{\alpha d} - 1)$: hệ số nhân ion

- Vậy ta có: $n = n_0 \frac{\exp(\alpha d)}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$

- Nếu có n_0 ion thoát ra từ diện tích 1cm^2 cathode trong 1s dưới tác động của nguôn ion hóa bên ngoài thì:

$$\frac{n_a}{n_0} = \frac{i_a}{i_0} = \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$$

- Tổng dòng anode:

$$i_a = i_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$$

Hệ số $\frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$: gọi là hệ số khuếch đại dòng trong phóng điện

* Điều kiện chuyển từ phóng điện không tự phát sang phóng điện tự phát:

- Nếu áp vào các điện cực có điện áp $V > V_t$ mà có hệ số tái sinh $\mu = \gamma(e^{\alpha d} - 1)$ và $i_0 e^{\alpha d}$ là âm. Điều này không có ý nghĩa vật lý. Có nghĩa là điện áp nhỏ hơn điện áp không thể duy trì.

- Mặt khác, khi $V < V_t$, khi đó $\mu < 1$, dòng không tự phát truyền qua.

- Điều kiện chuyển tiếp, $\mu = 1$ hay $\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$, trường hợp này gọi là điều kiện truyền qua dòng tự phát trong trường hợp điện trường $E_t = V_t/d$

- Thực tế, mặt cách hình thức, khi $V = V_t$, $I = 0/0 \neq 0$. Khi đó, $i_0 = 0$ tức là dòng truyền qua ngay cả khi không có nguôn ion bên ngoài. Nhưng quá trình trong khoang phóng điện lúc này thực ra không có sự trao đổi bên ngoài, bởi vì có "tái sinh" các e, mà các e này bắt đầu từ các ion sinh ra $(e^{\alpha d} - 1)$ ion và khi đến cathode sẽ bắt đầu lại. Mặt thực tế $(\mu = \gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1)$ cũng xuất hiện bởi sự thay thế mặt ion sinh ra. Sự chuyển đổi từ phóng điện không tự phát thành phóng điện tự phát có thể khảo sát như là sự "bắt đầu ánh sáng". Vì điều kiện $\mu = 1$ thông qua hàm $\alpha(E)$ và γ đã biết, xác định điện áp ánh sáng V phụ thuộc vào khoảng cách d. Điều kiện của phóng điện, cần phải thể hiện trên khoảng phóng

$$i_n \frac{\alpha d}{\ln 2} \approx \frac{\ln \gamma^{-1}}{\ln 2}$$

4. Định luật Pasen:

Khi điện trường giữa hai cực thì α rất nhỏ và $\gamma[\exp(\alpha d) - 1]$ rất nhỏ gần 1.

- Giả sử trường hợp $\gamma \ll 1$ nên điều kiện của phóng điện:

$$1 + \gamma - \gamma \exp(\alpha d) \approx 1 \approx \gamma \exp(\alpha d) = 0$$

- Chú ý rằng: $\alpha = pf\left(\frac{E}{p}\right); \gamma = \Phi\left(\frac{E}{p}\right); E_t = \frac{V_t}{d}$ (V_t là điện áp phóng điện)

- Thay vào đó:

$$\frac{1}{\Phi\left(\frac{V_t}{pd}\right)} = e^{pf\left(\frac{V_t}{pd}\right)}$$

- Ta có thể suy ra rằng, điều kiện của khí cho trường hợp này, thực tế phóng điện không phụ thuộc vào p và d riêng biệt, mà phụ thuộc vào tích số pd. Đây chính là nội dung định luật Pasen, mặt thực nghiệm của định luật phóng điện khí.

5. Mật độ phóng điện pháp lý mặt điện:

- Hệ số γ lớn, cần dùng kim loại có công thoát nhỏ như làm Cathode
- Dùng hỗn hợp khí Penning làm tăng hệ số α
Ví dụ: cho ≈ 1% khí Ar vào khí Ne
- Nhiệt độ tác động bên ngoài:
Ví dụ: nhiệt độ nóng Cathode, chỉ số bức xạ

III. **nhân tố động năng phóng điện:**

1. Sự động năng phóng điện khí:

- Các thông số $f(\epsilon), n_e, T_e, E$ có mối quan hệ với nhau và cần xác định điều kiện cân bằng các hạt mang điện bên trong plasma. Các thông số này là các đặc trưng của plasma. Ngoài ra cần tính các thông số qui thuộc về điều kiện cho dòng điện đi qua nh áp suất plasma P, dòng điện I, bán kính ống phóng R. Tuy nhiên nếu có hai thông số liên hệ PR và I/R, ta có thể xác định hoàn toàn các đặc trưng bên trong plasma. Đó là nhân tố động năng.

- Bản chất của nhân tố động năng mô tả plasma không nhất thiết là ch (P, R, I, T_e) mà còn phụ thuộc vào sự liên hệ của nó. Sự liên hệ thể hiện ra luôn ít hơn thông số ngoài.

- Nếu các thông số liên hệ PR = const, I/R = const thì các đặc trưng bên trong của plasma như: nồng độ điện tử trung bình ($\bar{\epsilon}$), bậc ion hóa ($\frac{n_i}{P}$), hàm phân bố điện tử theo vận tốc $\frac{f(\vec{v})}{P}$, cũng liên hệ với nhau sinh ra đặc trưng theo ống phóng điện \vec{E} sẽ không đổi. Sự phóng điện như thế gọi là động năng.

- Khảo sát sự phóng điện trong hỗn hợp phi điện tử khí hiếm. Điện tử làm ion hóa và mất mát năng lượng trong plasma. Khí hiếm tạo điều kiện cho quá trình dịch chuyển trong plasma.

- Hàm phân bố điện tử tích theo vận tốc:

$$f(v, t) = f_0(v, t) + \frac{\vec{v}}{v} \bar{f}_1(v, t)$$

$$\text{Với } \bar{f}_1(v, t) = -\frac{e\bar{E}}{mv_a} \frac{\partial f_0}{\partial v} - \frac{v}{v_a} \nabla f_0$$

- Phương trình động học Boltzman:

$$\frac{\partial f_0}{\partial t} + \frac{e}{3mv^2} \frac{\partial}{\partial v} (v^2 \bar{E} f_1) = \frac{1}{v^2} \frac{\partial}{\partial v} \left\{ v^2 v_e \left[A_1(v, t) \frac{\partial f_0}{\partial v} + v A_2(v, t) f_0 \right] \right\} - S(f_0) + T(f_0)$$

$$A_1(v, t) = \frac{4\pi}{3n_e} \left[\int_0^v v_1^4 f_0(v_1, t) dv_1 - v^3 \int_v^\infty v_1 f_0(v_1, t) dv_1 \right]$$

$$A_2(v, t) = \frac{4\pi}{n_e} \int_0^v v_1^2 f_0(v_1, t) dv_1$$

- Thành phần ưu tiên vận tốc phi điện tử tác động
- $S(f_0)$: toán tử va chạm không đàn hồi.
- $T(f_0)$: mô tả sự xuất hiện của điện tử trong quá trình ion hóa do va chạm và sự biến mất do tái hợp.
- Ta chia hai phương trình trên cho N_0^2

$$\frac{\partial}{\partial(N_0, t)} \frac{f_0}{N_0} - \frac{v}{3} \nabla \left(\frac{eR\bar{E}}{mN_0R^2v_a} \frac{\partial f_0}{\partial v N_0} + \frac{v}{N_0R^2v_a} \nabla \frac{f_0}{N_0} \right) - \frac{e}{3mv^2} \frac{\partial}{\partial v} \left(\frac{ev^2}{m} \frac{R^2E^2}{N_0R^2v_a} \frac{\partial}{\partial v} \frac{f_0}{N_0} + \frac{v^3R\bar{E}}{N_0R^2v_a} \nabla \frac{f_0}{N_0} \right)$$

$$= \frac{1}{v^2} \frac{\partial}{\partial v} \left[v^2 \frac{v_e}{N_0} \left(A_1 \frac{\partial f_0}{\partial N_0} + vA_2 \frac{f_0}{N_0} \right) \right] + \frac{S(f_0)}{N_0^2} + \frac{T(f_0)}{N_0^2}$$

N_0 : n ng h i th y ngân bão hòa

N u xem v và $R\bar{E}$ không i -> hàm phân b i n t theo v n t c $f_0(v, t)/N_0$ không i n u các thông s liên h p $N_0t \equiv \tau, N_0PR^2 = Z_1 (v_a \approx P)$ không i và n ng nguyên t kích thích và n ng ion th y ngân c ng không i.

Ph ng trình có dòng phóng i n có d ng:

$$i = 2\pi e b_e E_z \int_0^R n_e(r) r dr$$

E_z : là c ng i n tr ng theo ph ng ngang

b_e : là linh ng

nhân hai v ph ng trình i v i PR^2 , v i $b_e \approx P^{-1}$, $\rho = \frac{r}{R}$

$$\Rightarrow i^2 P = 2\pi e (b_e P) N_0 PR^2 . RE_z \int_0^R \frac{n_e(\rho)}{N_0} \rho d\rho$$

Ph ng trình trên s không i n u ngoài $Z_1 = N_0PR^2$ có thêm $Z_2 = iRP^2$ ng d ng v i Z_1 .

Hai thông s này đi n t s ng d ng v i nhau cho các phóng i n khí.

S ng d ng c a phóng i n khí ph thu c ch y u vào hai thông s liên h p: $Z_1 = N_0PR^2$ và $Z_2 = iRP^2$

2 Các thông s ph thu c trong phóng i n khí:

- Các thông s ph thu c trong phóng i n khí:

+ nhi t

+ ng kính ng phóng i n

+ dòng phóng i n (áp su t ch t khí bao g m áp su t toàn ph n và áp su t riêng

ph n)