

## ЖОҒАРҒЫ ЖИЛІКТІ РАЗРЯДТАҒЫ ТОЗАҢДЫ ПЛАЗМАНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

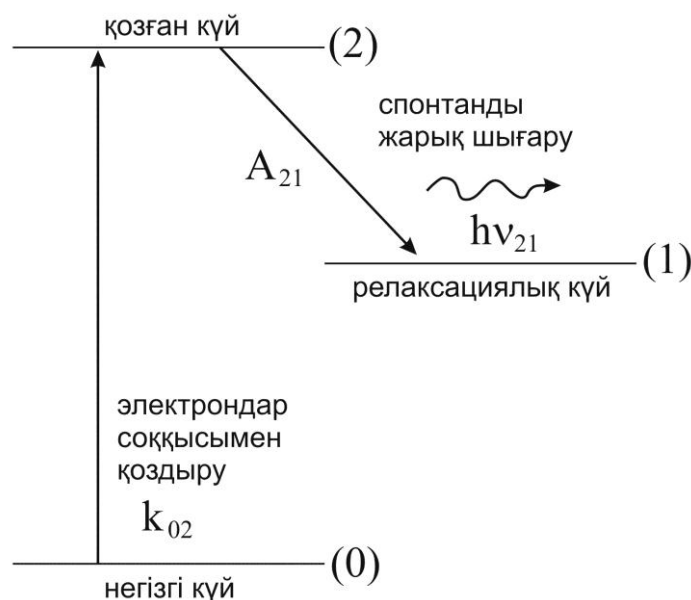
Өткен ғасырдың соңына таман жартылайөткізгішті элементтер өндірісіндегі жұқа үлдірлер дайындау кезіндегі тозаңды плазманың кері әсері осы ортаны зерттеуге деген қызығушылықты арттырды. Бұл кері эффекттердің алдын алу үшін газразрядты плазмада пайда болатын нанобөлшектердің дамуы мен өсу процесін, олардың тасымал механизмі мен разряд қасиетіне әсерін түсіну қажет болды.

Жалпы, тозаңды плазманы лабораториялық жағдайда 1920 жылдарда - ақ Ленгмюр байқаған болатын. Бірақ, плазманың бұл саласын қарқынды зерттеу соңғы жиырма жылдықта басталды. Сонымен, тозаңды плазма деп құрамында электрондар, иондар, бейтарап атомдармен қоса теріс немесе оң зарядталған қатты дененің ұсақ бөлшектері бар иондалған газдық ортаны айтады.

Тозаңды плазманың оптикалық қасиеттерін зерттеу плазмалы-тозаңды жүйе параметрлері жайында ауқымды мәліметтер алуға және жүйедегі физикалық процестерді тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Жұмыста плазма спектрлерін талдау негізінде олардың абсолют интенсивтілігі әдісімен плазманың электрондар температурасы анықталады.

Сонымен, біз зерттейтін жоғары жиілікті разрядтағы тозаңды плазма локальді термодинамикалық тепе-тең жүйеде емес төменгі қысымдағы әлсіз иондалған плазма, яғни  $n_e \neq n_i$ , ( $n_e \approx 10^{15} \text{ м}^{-3}$ ).



23-сурет. Атомның қозуы, корона баланс моделі

Мұндай жағдайда бейтарап аргон атомдарының көпшілігі негізгі күйде және  $2p1$  деңгейдегі электрондар жиыны  $2p1-1s2$  спонтанды көшу арқылы азайып отырады, 23 суретті қараңыз. Ескере кететін жәйт, автожұтылу елеусіз және бейтарап аргон атомдарын қоздыру көзі тек қана электрон-

атомдық соқтығысулар нәтижесінде болады. Бұл шарт «корона баланс» моделіне сәйкес келеді.

Осы әдіс негізінде аргон және гелий плазмасының спектрлік сызықтарының жарық интенсивтілігін вольфрам шамының спектрлік сызықтарының жарық интенсивтілігімен салыстыра отырып, электрондар температурасын есептейміз. Вольфрам шамы күн коронасының моделі ретінде қолданылады, әдістің атауы да осыдан шығып отыр. Вольфрам шамының жарық температурасы электронды пирометрмен анықталады. Ал, шамның электрондар температурасы төмендегідей есептеледі:

$$T = \frac{T_{ж}}{1 + \frac{\lambda}{c} T_{ж} \ln(\varepsilon)}, \quad (65)$$

мұндағы  $T_{ж}$  – жарық температурасы,  $c = 1.44 \text{ см} \cdot \text{К}$ ,  $\varepsilon = 0.5$ ,  $\lambda = 6.69 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ .

Плазманың жарық интенсивтілігі келесідей анықталады:

$$I_p = \frac{1}{4\pi} A_n^m N_p h c k \Delta V \Delta \Omega K, \quad (66)$$

мұндағы  $A_n^m$  – кванттық сан,  $m$  – нан  $n$  – ға өту ықтималдығы,  $N_p$  – қозған деңгейдегі атомдар концентрациясы,  $h$  – Планк тұрақтысы,  $c$  – жарық жылдамдығы,  $k$  – толқындық сан;  $\Delta \Omega$  – бақылау (денелік) бұрышы,  $\Delta V$  – плазма көлемі,  $K$  – колибрация факторы (вольфрам лампы);

Ал, вольфрам шамының жарық интенсивтілігі:

$$I_\omega = a_\omega(k, T) L(k, T) \Delta k \Delta S \Delta \Omega K, \quad (67)$$

мұндағы  $a_\omega(k, T) = 0.5$  – вольфрамның қозу коэффициенті,  $\Delta k = 30 \text{ см}^{-1}$ .

Жарық спектрінің тығыздығы:

$$L(k, T) = \frac{2 h c k^3}{\exp\left(\frac{h c k}{k_B T}\right) - 1}. \quad (68)$$

Енді екі интенсивтілікті салыстыра отырып келесіде көрсетілгендей қатынасты аламыз:

$$\frac{I_p}{I_\omega} = \frac{l[\exp\left(\frac{h c k}{k_B T}\right) - 1] N A}{8 \pi c a_\omega(k, T) k^2 \Delta k}, \quad (69)$$

осы қатынастан біз электрондардың қозған деңгейдегі  $N$  концентрациясын анықтайтын формула аламыз:

$$N = \frac{8\pi c a_{\omega}(k, T)}{[\exp\left(\frac{hck}{k_B T}\right) - 1]A}. \quad (70)$$

Экспериментте плазма спектрінің аргон үшін 750.38 нм және гелий үшін 388.86 нм сәйкес келетін сызықтары қолданылады. Аргон плазмасының 750.38 нм спектрлік сызығы үшін ауысу ықтималдығы  $4.45 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ , спонтанды ауысу  $2p_1 \rightarrow 1s_2$  тең, ал сәйкесінше гелийдің 388.86 нм спектрлік сызығы үшін ауысу ықтималдығы  $9.47 \cdot 10^6$ , спонтанды ауысу  $3p \rightarrow 3s_1$  тең.

Корона баланс моделіне сәйкес келетін теңдеу төмендегідей жазылады:

$$n_e n_0 k(T) = \frac{N}{\tau}. \quad (71)$$

мұндағы  $k$  – қозу коэффициенті,  $n_0$  – қалыпты жағдайдығы бейтарап атомдардың концентрациясы,  $n_e$  – электрондардың концентрациясы,  $\tau$  –  $2p_1$  ( $3p$ ) деңгейде болу уақыты,  $N$  –  $2p_1$  ( $3p$ ) деңгейдегі концентрация.

Аргон және гелий спектрлік сызықтарының интенсивтілігін вольфрам шамның интенсивтілігімен салыстыра отырып,  $2p_1$  ( $3p$ ) қозған деңгейдегі электрондар концентрациясын анықтаймыз, бұл концентрация плазма жанғаннан кейінгі  $1 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$  - ден  $4 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$  дейін 20 сек. уақыт аралығындағы өзгерісі. Қозу коэффициенті мен электрондар температурасы арасындағы қатынас аргон үшін мынаған тең:

$$k(T) \approx 2.78 \cdot 10^{-15} \exp\left(-\frac{13.5}{kT_e}\right), \quad (72)$$

$$T_e = -\frac{13.5}{\ln\left(0.7 \frac{N}{n_e}\right)}. \quad (73)$$

Ал гелий үшін:

$$k(T) \approx 3.97 \cdot 10^{-14} \exp\left(-\frac{24.5}{kT_e}\right), \quad (74)$$

$$T_e = -\frac{24.5}{\ln\left(3.06 \frac{N}{n_e}\right)}. \quad (75)$$