

С.С.Ануфрик, А.П.Володенков, К.Ф.Зноско
УПРОЩЕННАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ОБРАЗОВАНИЯ ХеСl* -МОЛЕКУЛ

Для теоретического исследования кинетики образования эксимерных ХеСl* молекул нами была использована упрощенная модель, блок-схема которой представлена на рис. 1.

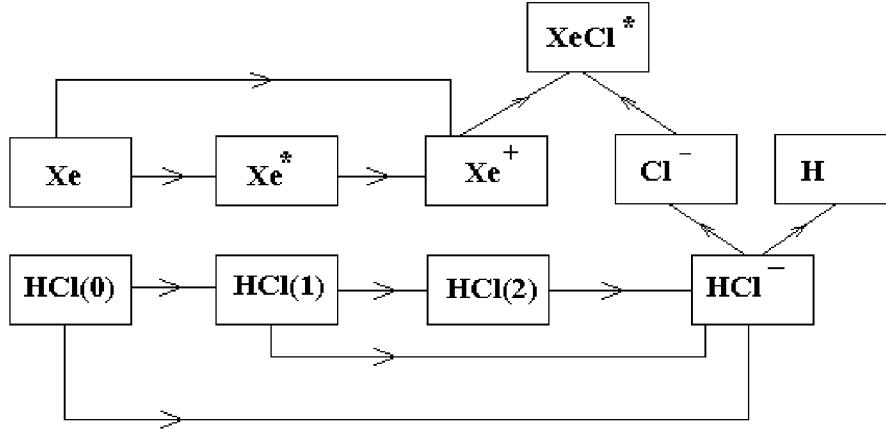
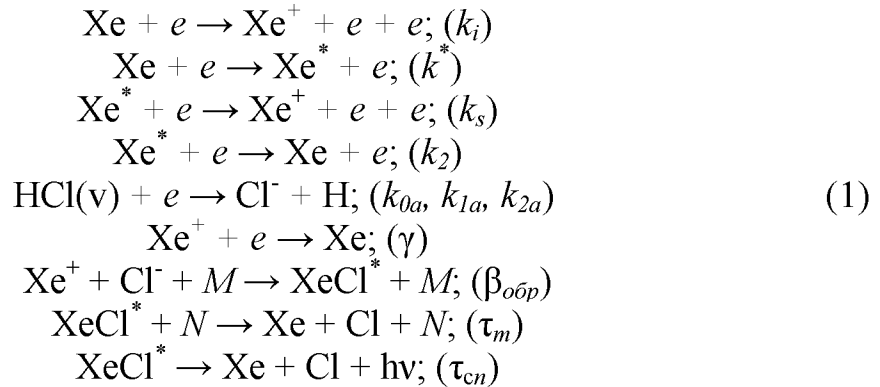


Рис. 1. Блок-схема упрощенной модели кинетики образования ХеСl* -молекул

Эта модель включает следующую совокупность плазмохимических реакций:



В круглых скобках возле каждой реакции указано обозначение ее скоростного коэффициента, а в последних двух реакциях – постоянные времени. Через M и N обозначены совокупности каких-то частиц, участвующих в реакции. Величина E/P в разрядном промежутке была либо постоянной, либо зависящей от времени. Поэтому скоростные коэффициенты реакций выбирались соответствующими конкретному значению E/P . На основании (1) составлена следующая система кинетических уравнений:

$$\begin{aligned}
\frac{dN_0}{dt} &= -[k_{01} + k_{02} + k_{0a}]N_0N_e, \\
\frac{dN_1}{dt} &= [k_{01}N_0 - k_{1a}N_1]N_e, \\
\frac{dN_2}{dt} &= [k_{02}N_0 - k_{2a}N_2]N_e, \\
\frac{dN_e}{dt} &= [k_i[\text{Xe}] + k_s[\text{Xe}^*]]N_e + I - \gamma N_e - [k_{0a}N_0 + k_{1a}N_1 + k_{2a}N_2]N_e, \\
\frac{d[\text{Xe}^*]}{dt} &= [k^*[\text{Xe}] - (k_s + k_2)[\text{Xe}^*]]N_e, \\
\frac{d[\text{Xe}^+]}{dt} &= [k_i[\text{Xe}] + k_s[\text{Xe}^*] - \gamma[\text{Xe}^+]]N_e - \beta_{\text{обп}}[\text{Xe}^+][\text{Cl}^-], \\
\frac{d[\text{Cl}^-]}{dt} &= [k_{0a}N_0 + k_{1a}N_1 + k_{2a}N_2]N_e[\text{Cl}^-] - \beta_{\text{обп}}[\text{Xe}^+][\text{Cl}^-], \\
\frac{d[\text{XeCl}^*]}{dt} &= \beta_{\text{обп}}[\text{Xe}^+][\text{Cl}^-] - \frac{[\text{XeCl}^*]}{\tau},
\end{aligned}
\tag{2}$$

В системе уравнений (2) использованы следующие обозначения: N_e – концентрация электронов; N_0 , N_1 , N_2 – концентрации колебательных молекул HCl в различных состояниях; $[\text{Xe}]$, $[\text{Xe}^*]$, $[\text{Cl}^-]$, $[\text{Xe}^+]$, $[\text{Cl}^-]$, HCl, $[\text{XeCl}^*]$ – концентрация соответствующих атомов ионов и молекул.

Для решения системы кинетических уравнений (2) необходимо знать начальные условия. В качестве начальных условий можно использовать результаты, полученные в [1], описывающие работу системы в режиме преионизации или в [2], описывающие стадию пробоя. Физически это соответствует двум способам возбуждения активной среды. Если используются результаты [1], то предполагается, что к активной среде приложен прямоугольный импульс напряжения и выбираются скоростные коэффициенты, соответствующие конкретному значению E/P . При использовании результатов [2] предполагается, что среда возбуждается в режиме высоковольтного предимпульса. Сначала к межэлектродному промежутку прикладывается напряжение с большей величиной E/P и происходит пробой. Затем величина напряжения быстро снижается до некоторой величины E/P , оптимальной для скорости образования эксимерных молекул. Основной энерговклад в активную среду осуществляется на этом этапе. При численном решении системы уравнений (2) с помощью стандартных программ MathCad исследованы оба способа возбуждения активной среды. Для того, чтобы оценить насколько модели, описываемые [2] и (2) соответствуют друг другу, остановимся только на

анализе результатов, получаемых при использовании в качестве начальных условий для (2), данных полученных в [1]. На рис. 2, 3 представлены зависимости концентраций атомов, ионов и молекул от времени.

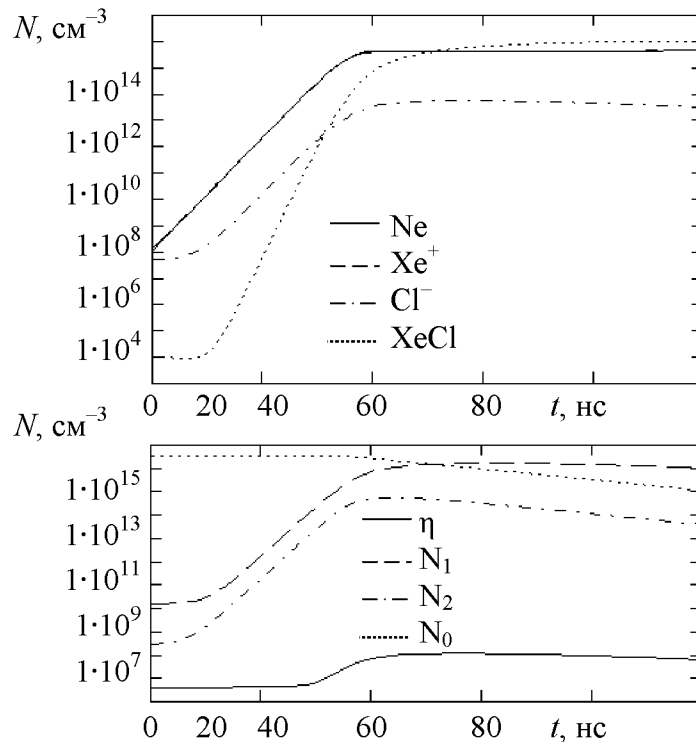


Рис. 2. Кинетика образования XeCl^* -молекул.

Парциальное давление HCl равнялось 1 торр; парциальное давление Xe равнялось 30 торр; $E/P = 2000 \text{ В}/(\text{см атм})$; $P = 3 \text{ атм}$ – общее давление газа (буферный газ Ne); η – частота прилипания; N_e, N_0, N_1, N_2 – концентрация электронов и колебательных молекул HCl в различных состояниях; $\text{Xe}^+, \text{Cl}^-, \text{XeCl}^*$ – концентрация ионов ксенона, хлора и молекул XeCl^*

Эффективная частота прилипания η считалась равной

$$\eta(t) = k_{0a} \cdot N_0 + k_{1a} \cdot N_1 + k_{2a} \cdot N_2. \quad (3)$$

Концентрация электронов выходит на квазистационарный уровень $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$ за 40 нс, скорость нарастания концентрации электронов определяется $(\nu - \eta)$, где ν – частота ионизации, а квазистационарное значение концентрации электронов величиной η и скоростью рекомбинации γ . Нами использован термин квазистационарный уровень, так как при этом частота прилипания меняется и вместе с этим меняется значение концентрации электронов.

Следует отметить, что теоретические кривые (см. рис. 2, 3) удовлетворительно соответствуют экспериментальным данным [3]. Они могут быть использованы для определения мощности спонтанного излучения P_{cn} с единицы объема разряда:

$$P_{cn} \sim [\text{XeCl}^*]/\tau_{cn} \quad (4)$$

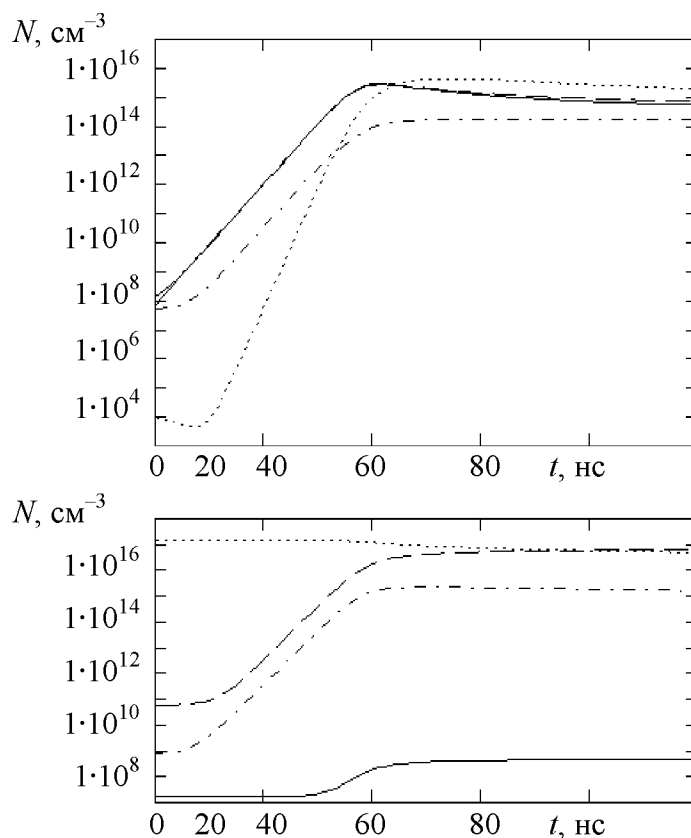


Рис. 3. Кинетика образования XeCl^* -молекул

Парциальное давление HCl равнялось 4 торр; парциальное давление Xe равнялось 30 торр; $E/P = 2000 \text{ В}/(\text{см атм})$; $P = 3 \text{ атм}$ – общее давление газа (буферный газ Ne); η – частота прилипания; N_e , N_0 , N_1 , N_2 – концентрация электронов и молекул HCl в различных колебательных состояниях; Xe^+ , Cl^- , XeCl^* – концентрация ионов ксенона, хлора и молекул XeCl^*

Полученные в результате теоретических расчетов данные были использованы при разработке и оптимизации эксимерламп.

Литература

1. *Anufrik S., Volodenkov A., Znosko K.* Simulation of preionization system for XeCl -lasers // LFNМ-2004. Kharkov, 2004. P. 56–58.
2. *Anufrik S., Volodenkov A., Znosko K.* Dependence of plasma resistance from time in electrodischarge excimer lasers // LAT-2005. 2005. St.Petersburg, Russia.
3. *Багинский В. М., Головинский П. М., Данилычев В. А. и др.* Динамика развития разряда и предельные характеристики лазеров на смеси He-Xe-HCl // Квант. электрон. 1986. Т. 13, № 4. С. 751–758.