

НОВЫЕ ЭКСИМЕРНЫЕ ПОЛОСЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЛОИДОВ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

Н.Г.Басов, В.А.Данилычев, В.А.Долгих,
О.М.Керимов, В.С.Лебедев, А.Г.Молчанов

При возбуждении пучком быстрых электронов газовых смесей Ar/F_2 , $\text{Ar}/\text{Kr}/\text{F}_2$ и $\text{Kr}/\text{Xe}/\text{F}_2$ обнаружены широкие полосы излучения с центрами на 290, 420 и 480 нм, которые связываются с образованием молекул, состоящих из одного галоидного и двух инертных атомов.

1. При возбуждении электронным пучком смесей инертных газов со фтором образуются эксимеры ArF^* , KrF^* и XeF^* , излучение которых в полосах 190, 250 и 350 нм в настоящее время широко используется для получения интенсивной генерации света в ультрафиолетовой области спектра (см., например, [1–3]). В данной работе, при исследовании спектров излучения газовых смесей Ar/F_2 , $\text{Ar}/\text{Kr}/\text{F}_2$ и $\text{Kr}/\text{Xe}/\text{F}_2$ в широком интервале длин волн от 270 до 520 нм обнаружены новые полосы, расположенные на 290, 420 и 480 нм. Характер зависимости интенсивности излучения этих полос от давления указывает на возможность образования сложных соединений инертных газов с галогенами.

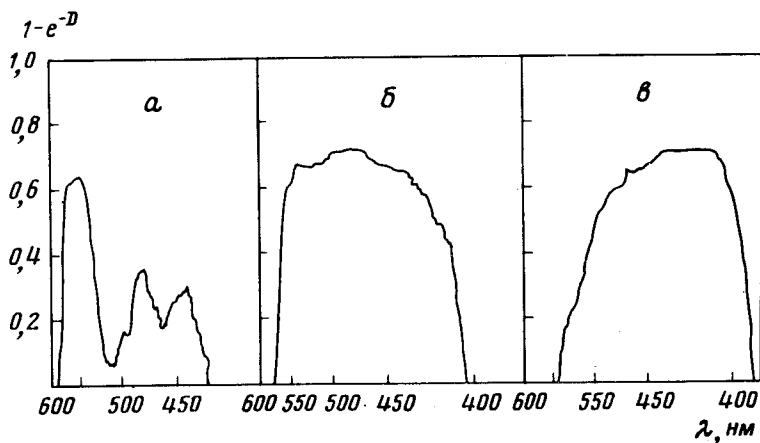


Рис. 1. Спектры излучения смесей инертных газов со фтором в области длин волн от 270 до 520 нм при концентрации частиц $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ и температуре 293К: а – Xe/F_2 (1000/1), б – $\text{Kr}/\text{Xe}/\text{F}_2$ (1000/10/1), в – $\text{Ar}/\text{Kr}/\text{F}_2$ (1000/10/1). Интенсивность спектров б и в ослаблена по сравнению со спектром а в 10 раз. D – почернение пленки

2. Возбуждение рассматриваемых смесей осуществлялось электронным пучком с параметрами: $E = 600 \text{ кэВ}$, $j = 100 \text{ А/см}^2$, $\tau = 20 \text{ нс}$. В рабочую камеру, которая могла охлаждаться жидким азотом и нагре-

ваться с помощью спиралей из нихрома, электронный пучок вводился через титановую фольгу толщиной 50 мкм. В экспериментах использовались: аргон чистоты 99,99%, ксенон чистоты 99,9% и криптон чистоты 98,7% с 1% содержанием ксенона. Излучение в области 190 – 460 нм регистрировалось с помощью монохроматора ВМ-1 с разрешением 2 нм и фотоприемника ЭЛУ-ФТ, перед которым располагался люминофор. Спектры излучения в области 360 – 1000 нм с помощью спектрографа ИСП-51 фотографировались на пленку РФ-3 с разрешением 0,4 – 1 нм. При исследовании стимулированного излучения смеси $\text{Ag}/\text{Kr}/\text{F}_2$ (1000/10/1) резонатор лазера был образован сферическими зеркалами ($r = 3\text{ М}$), расположенными внутри камеры, с коэффициентами отражения на длине волны 248,6 нм равными $R_1 = 97\%$ и $R_2 = 93\%$ ($T \sim 4\%$). Объем активной области составлял 4 см^3 , диаметр используемых зеркал – 1 см, расстояние между зеркалами – 10 см.

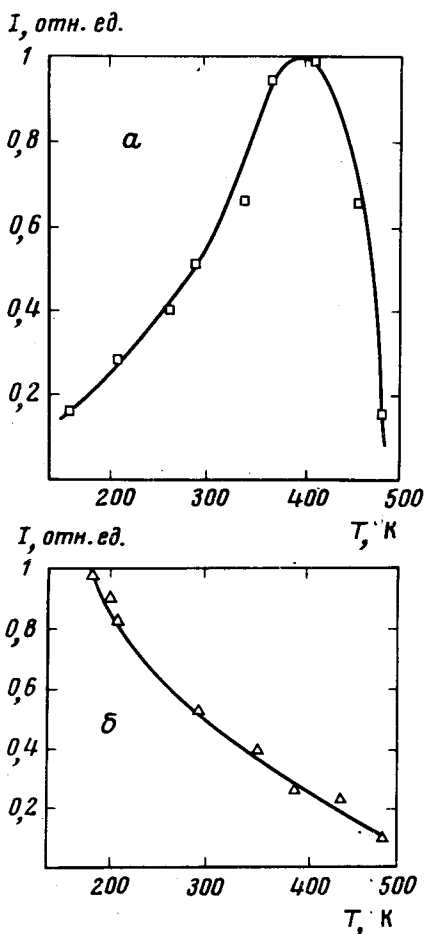


Рис. 2. Зависимость интенсивности полос 250 (а) и 420 (б) от температуры в газовой смеси $\text{Ag}/\text{Kr}/\text{F}_2$ (1000/10/1) при концентрации частиц $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$

3. На рис. 1, а – в представлены спектры излучения смесей инертных газов со фтором. В смесях Ag/F_2 (1000/1), $\text{Ag}/\text{Kr}/\text{F}_2$ (1000/10/1) и $\text{Kr}/\text{Xe}/\text{F}_2$ (1000/10/1) наблюдаются широкие полосы излучения с центрами соответственно на 290, 420 и 480 нм. На полосы 420 и 480 нм на-

кладываются слабые полосы излучения, наблюдаемые в смеси Xe/F₂ (см. рис. 1, а), которые связаны с наличием примеси ксенона в криптоне. Отношение интенсивности полос 420 и 480 нм к интенсивности излучения эксимеров KrF* (250 нм) и полосы 290 нм к интенсивности излучения ArF* (190 нм) практически линейно зависит от давления в области давлений 1–8 атм. В смеси Ar/Kr/F₂ (1000/10/1) обнаружена сильная температурная зависимость интенсивности полос 420 и 250 нм (см. рис. 2). В области температур от 150 до 400 К наблюдается увеличение интенсивности спонтанного и индуцированного излучения молекул KrF* (см. рис. 3) и соответствующее ему уменьшение интенсивности полосы 420 нм.

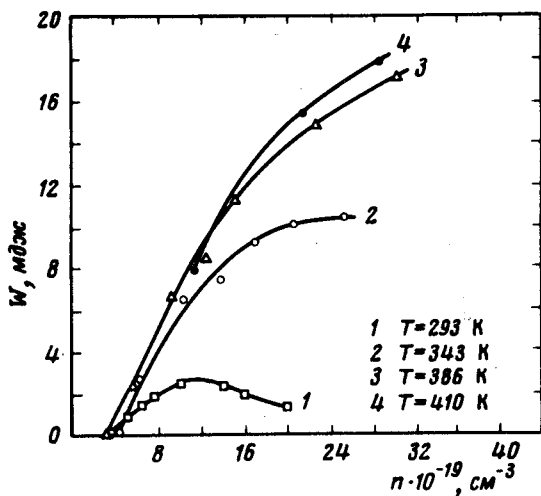
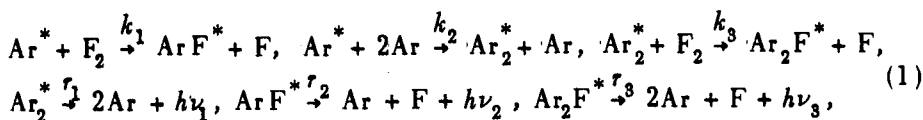


Рис. 3. Зависимость от давления энергии генерации на длине волны 248,6 нм в смеси Ar/Kr/F₂ (1000/10/1) при различных температурах

4. Наблюдаемые новые полосы излучения можно связать с радиационным распадом эксимеров, состоящих из одного галоидного и двух инертных атомов. У таких трехатомных эксимеров, например, Ar₂F*, энергия связи должна быть больше по сравнению с двухатомными эксимерами ArF* на величину энергии связи молекулярного иона Ar₂⁺, а потенциал отталкивания в нижнем состоянии, в которое переходят эксимеры при излучении кванта света, выше за счет наличия третьей отталкивающей частицы. Это приводит к длинноволновому сдвигу и сильному уширению соответствующих полос излучения. Рассмотрим, например, процесс образования трехатомных эксимеров в смеси Ar/F₂. Под действием электронного пучка в газе образуются возбужденные атомы Ar*, которые взаимодействуют с остальными компонентами смеси следующим образом:



где r_i – спонтанные времена жизни, а k_i – константы скоростей процессов образования эксимеров. Из (1) в квазистационарном режиме

следует, что отношение интенсивностей спонтанного излучения эксимеров Ar_2F^* и ArF^* равно

$$\frac{r_2}{r_3} \frac{[\text{Ar}_2\text{F}^*]}{[\text{ArF}^*]} = \frac{k_2 k_3}{k_1} \frac{[\text{Ar}]^2}{k_3 [\text{F}_2] + r_1^{-1}} \quad (2)$$

и при фиксированном отношении $[\text{F}_2]/[\text{Ar}]$ концентрации фтора к аргону растет с увеличением давления сначала квадратично, а затем выходит на линейную зависимость, которая отмечалась выше для полос 290 и 190 нм. Следовательно, в смеси Ar/F_2 полоса излучения 290 нм может быть обусловлена излучательным распадом эксимеров Ar_2F^* . Полоса излучения 420 нм в смеси $\text{Ar}/\text{Kr}/\text{F}_2$ (1000/10/1) связана, по-видимому, с образованием эксимеров ArKrF^* , так как концентрация эксимеров Kr_2F^* , образующихся в этой смеси, мала. Комплексы ArKrF^* образуются из эксимеров ArKr^* , которые дают интенсивную полосу излучения 135 нм при низких температурах [4]. Поэтому наблюдаемую температурную зависимость интенсивности спонтанного и индуцированного излучения полосы 250 нм (рис. 2,3) можно объяснить конкуренцией процессов образования эксимеров KrF^* и ArKrF^* и сильной температурной зависимостью констант скоростей образования эксимеров, например, для $\text{Xe}_2^* \sim \exp(T_0^2/T^2)$ [5]. Резкое уменьшение интенсивности полосы 250 нм при температурах выше 400 К вероятно обусловлено безызлучательной дезактивацией эксимеров KrF^* . В смеси $\text{Kr}/\text{Xe}/\text{F}_2$ полоса излучения 480 нм объясняется в основном образованием эксимеров KrXeF^* , так как концентрация эксимеров Kr_2F^* , излучение которых возможно дает некоторый вклад в эту полосу, мала вследствие быстрой передачи возбуждения от Kr_2^* к атомам Xe, в то же время, концентрация ксенона недостаточно велика для образования эксимеров Xe_2F^* .

Обнаруженные широкие полосы излучения галоидов инертных газов могут быть использованы для создания перестраиваемых лазеров видимого диапазона, а также для генерации сверхкоротких $\sim 10^{-15}$ сек импульсов света.

Физический институт им. П.Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19 мая 1977 г.

Литература

- [1] С.А. Brau, J.J. Ewing. J. Chem. Phys., **63**, 4640, 1975.
- [2] J.M. Hoffman, A.K. Hays, G.C. Tisone. Appl. Phys. Lett., **28**, 538, 1976.
- [3] Н.Г. Басов, А.Н. Брунин, В.А. Данилычев, В.А. Долгих, А.Г. Дегтярев, О.М. Керимов. Письма в ЖТФ, **2**, 1057, 1976; Квантовая электроника, **4**, №8, 1977.
- [4] Е.Т. Verkhovtseva, А.Е. Ovechkin, Ya. M. Fogel. Chem. Phys. Lett., **30**, 120, 1975.
- [5] М.Д. Баранов, С.Г. Бурдин, В.А. Данилычев, О.М. Керимов. Квантовая электроника, **2**, 1977, 1975.