

03;12

Генерация и вынужденное излучение на переходах эксимерной молекулы Xe_2Cl^* при накачке „жидких“ газовых смесей $\text{Xe}-\text{CCl}_4$ и $\text{Ar}-\text{Xe}-\text{CCl}_4$ импульсным электронным пучком

© А.И. Миськевич, Го Цзиньбо

Национальный исследовательский ядерный университет „МИФИ“, Москва
E-mail: miskev@mail.ru, hellogjb@yahoo.com.cn

Поступило в Редакцию 28 ноября 2012 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований спонтанного и вынужденного излучений триплексных молекул Xe_2Cl^* при возбуждении „жидких“ газовых смесей $\text{Xe}-\text{CCl}_4$ и $\text{Ar}-\text{Xe}-\text{CCl}_4$ импульсным пучком быстрых электронов. При энергозатратах в газ ~ 0.04 J в кювете длиной 5 см реализуется режим усиления спонтанного излучения в диапазоне длин волн 430–550 nm на переходах из 2^2B_2 и 4^2G состояний молекулы Xe_2Cl^* .

Эксимерная молекула Xe_2Cl^* относится к группе триплексных молекул, излучающих широкую (~ 100 nm) полосу в ближней УФ- или видимой сине-зеленой области спектра на связанно-свободных переходах. Интерес к такого рода молекулам связан с возможностью создания газового лазера с перестраиваемой длиной волны излучения в широком интервале длин волн ($\Delta\lambda \sim 100$ nm) или использования их для усиления фемтосекундных импульсов в гибридных лазерных системах [1].

Молекула Xe_2Cl^* образуется в ксенонсодержащих смесях инертных газов с добавками хлора или хлорсодержащих доноров (HCl , BCl_3 , CCl_4 , SOCl_2 , CCl_3F , CCl_2F_2 , CClF_3 и др. [2]). Наиболее эффективным донором для образования Xe_2Cl^* является четыреххлористый углерод CCl_4 . Генерация или устойчивое усиление на переходах $4^2\text{G}-1^2\text{G}$ молекулы Xe_2Cl^* (длины волн 488, 497.6 и 514.5 nm) впервые наблюдались в работах [3,4] при накачке газовых смесей $\text{Ar}-\text{Xe}-\text{CCl}_4$ высокого давления ($\sim 7-8$ atm) импульсным электронным пучком большой мощности ($E_e = 0.5-1$ MeV, $I_e = 5-8$ kA, $t = 3-10$ ns). В лазерной

кювете длиной 10 см была достигнута мощность генерации 2.9 kW ($\lambda = 518$ nm) при полном энергокладе в газ ~ 80 J [4]. Парциальные давления донора CCl_4 и основного газа Xe в смеси Ar–Xe– CCl_4 составляло при этом 0.5–10 и 100–750 Torr соответственно. Лазерная генерация возникала вблизи порога, что, по мнению авторов, было связано с низким коэффициентом усиления среды, малым временем накопления стимулированной эмиссии в устойчивом резонаторе и сильным внутррезонаторным поглощением в видимой области спектра.

Мы провели исследования излучательных характеристик плотных газовых смесей Ar–Xe– CCl_4 и Xe– CCl_4 высокого давления (≤ 2.5 atm) при возбуждении импульсным пучком быстрых электронов с энергией 150 keV, длительностью 5 ns на полувысоте и амплитудой тока пучка 40 А на оси лазерной кюветы. Работы проводились на установке, описанной в работе [5], в широком диапазоне изменения концентраций CCl_4 — от очень малых парциальных давлений (~ 20 mTorr) до 1 Torr. Было обнаружено, что излучение молекулы Xe_2Cl^* сильно зависит от концентрации CCl_4 в смеси и достигает своего наивысшего значения при парциальных давлениях ~ 30 –50 mTorr. На рис. 1 показаны спектры люминесценции газовых смесей Xe– CCl_4 , содержащих 50 mTorr (кривая 1) и 1 Torr CCl_4 (кривая 2). Видно, что эффективность образования молекул Xe_2Cl^* в „жидких“ газовых смесях более чем в 5 раз выше, чем в аналогичных смесях с высоким содержанием донора CCl_4 . Измеренные нами характерные времена высвечивания полосы $4^2\text{G}-1^2\text{G}$ молекулы Xe_2Cl^* составили 145 ns, что согласуется с данными работы [6]. Исследования спектрально-кинетических характеристик этих газовых смесей показали также, что основным каналом образования молекул Xe_2Cl^* является ион-ионная рекомбинация ионов Xe_2^* с отрицательными ионами галогеносодержащего донора. Интересно отметить, что добавки N_2 или воздуха к „жидкой“ газовой смеси Xe– CCl_4 атмосферного давления в количестве до 10 Torr слабо влияют на ее люминесцентные характеристики и не вызывали тушения полосы $4^2\text{G}-1^2\text{G}$ молекулы Xe_2Cl^* .

В связи с обнаруженной высокой эффективностью „жидких“ газовых смесей нами были выполнены эксперименты по получению лазерной генерации на переходе ($4^2\text{G}-1^2\text{G}$) эксимерной молекулы Xe_2Cl^* при накачке „жидкой“ газовой смеси импульсным электронным пучком. В качестве лазерной кюветы использовалась камера, описанная в работе [5], с установленными вместо окон зеркалами с

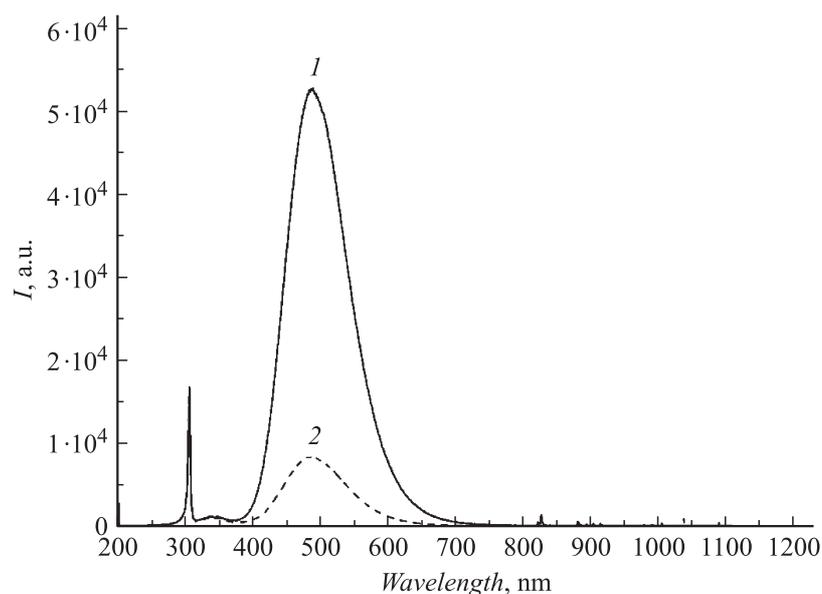


Рис. 1. Спектры люминесценции газовых смесей Xe–CCl₄ высокого давления с низким (1) и высоким (2) содержанием донора CCl₄ при возбуждении пучком быстрых электронов. Состав смесей: 1 — Xe — 2.5 atm, CCl₄ — 50 mTorr; 2 — Xe — 2.5 atm, CCl₄ — 1 Torr.

многослойным диэлектрическим покрытием. Использовались зеркала диаметром 40 mm с радиусом кривизны отражающей поверхности 10 m, имеющие коэффициент отражения на длине волны 515 nm, равный 99.8% (глухое зеркало) и 96.4% (выходное зеркало) соответственно. Расстояние между зеркалами было равно 180 mm, длина возбуждаемой поперечным электронным пучком активной среды составляла 50 mm. Энергия электронов 150 keV, длительность импульса тока пучка была около 5 ns. Усредненное пиковое значение плотности тока пучка быстрых электронов на оси резонатора, измеренное с помощью плоского зонда, — 10 A/cm². Такие параметры электронного пучка с учетом пробега электронов обеспечивали суммарный энерговклад в активную среду лазера, имеющую размеры $\varnothing 30 \times 50$ mm, около ~ 0.04 J за одиночный импульс. Регистрация светового излучения производилась

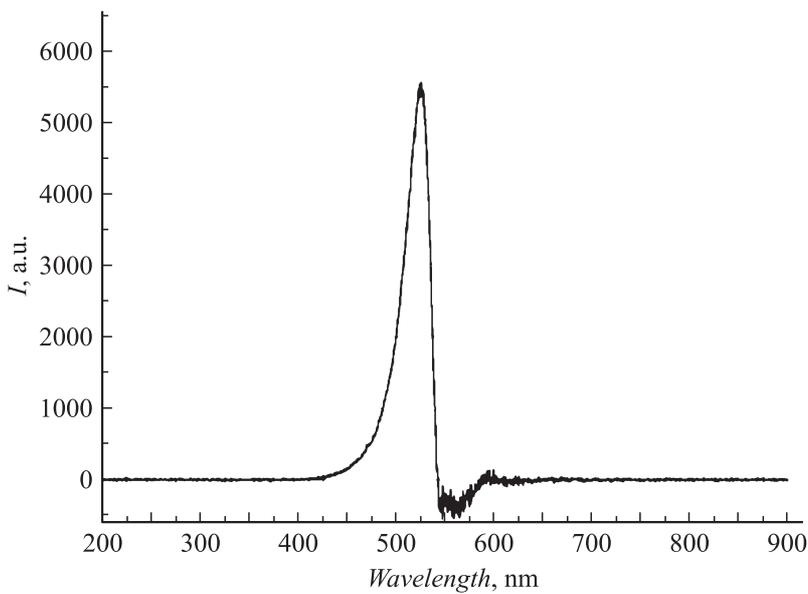


Рис. 2. Спектр стимулированного излучения газовой смеси Xe–CCl₄ высокого давления при накачке импульсным пучком электронов с энергией 150 keV при энергозкладах 0.04 J/имп. Состав смеси: Xe — 2.5 atm, CCl₄ — 50 mTorr.

спектрометром MAYA2000Pro с помощью оптоволоконного световода через выходное зеркало резонатора. Записывались спектры при отъюстированном резонаторе и при расстроенном резонаторе. Приведенная на рис. 2 спектрограмма для газовой смеси Xe–CCl₄ представляет собой разностный спектр этих двух режимов. Полученный таким образом спектр стимулированного излучения очень похож на приведенный в работе [4], однако в нем отсутствуют какие-либо признаки внутрирезонаторного поглощения света, о котором говорилось в этой работе. По-видимому, отсутствие поглощения в нашем случае можно объяснить существенно более низким уровнем накачки, чем в работе [4] (почти в 2000 раз!), или же полным отсутствием поглощения как такового для активной среды Xe–CCl₄.

При использовании других комплектов зеркал, имеющих в диапазоне длин волн 430–480 nm высокий (99.9%) коэффициент отра-

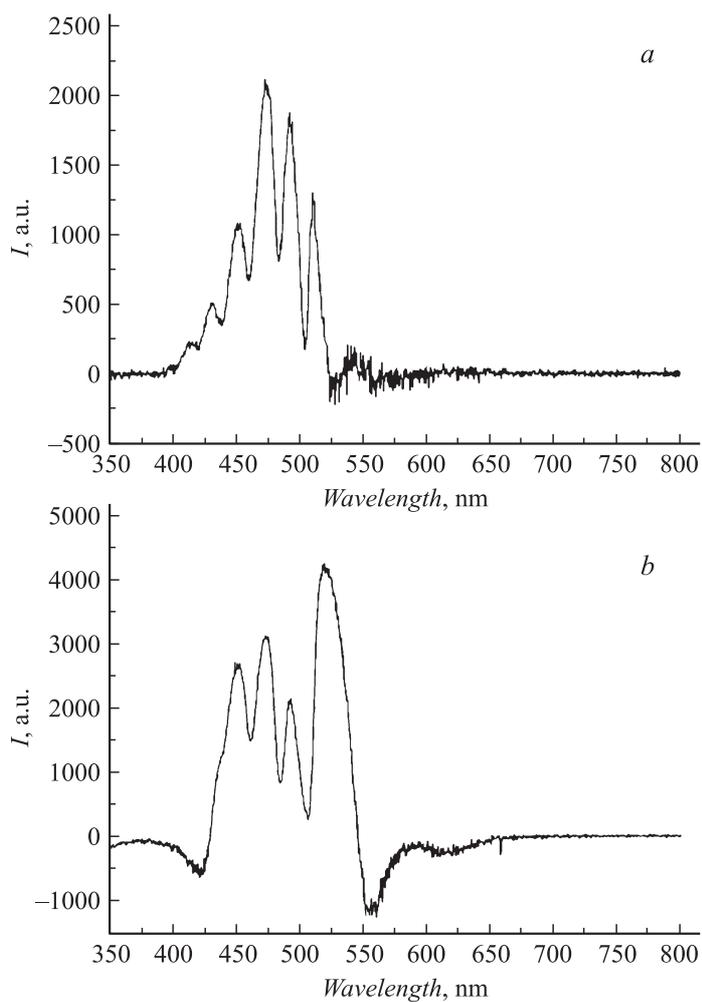


Рис. 3. Спектр стимулированного излучения газовой смеси Ar–Xe–CCl₄ высокого давления при накачке импульсным пучком электронов с энергией 150 keV при энерговкладах 0.04 J/imp и разных выходных зеркалах оптического резонатора: *a* — Z64 (пропускание 1.5% при 490), *b* — Z6A1 (пропускание 1.7% при 455 nm). Заднее зеркало A-12 — глухое (пропускание 0.1–0.2%). Состав газовой смеси: *a* — Ar — 1.5 atm, Xe — 1 atm, CCl₄ — 37.5 mTorr; *b* — Ar — 2 atm, Xe — 0.5 atm, CCl₄ — 37.5 mTorr.

жения глухого зеркала и около 98% для выходного зеркала, было зарегистрировано в Ar–Xe–CCl₄ стимулированное излучение в полосе излучения молекулы Xe₂Cl^{*} с длинами волн 412, 431, 451, 475, 497, 510 nm (рис. 3, *a, b*). Наблюдаемое нами излучение, согласно работе [6], связано с разрешенными дипольными переходами из состояний 2²B₂ и 4²Г молекулы Xe₂Cl^{*} и частично совпадает с результатами экспериментальной работы [3], в которой было зарегистрировано усиление на длинах волн 514.5, 497.6, 488 nm и поглощение на 476.9 nm, приписываемое накоплению радикалов молекул CCl_x. Следует также отметить, что добавление гелия к газовой смеси Ar–Xe–CCl₄ в количестве 380–760 Torr практически не изменяет ее люминесцентных характеристик.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что „жидкие“ газовые смеси Ar–Xe–CCl₄ и Xe–CCl₄ атмосферного давления имеют высокую эффективность образования молекул Xe₂Cl^{*}, более чем в 5 раз превышающую эффективность образования этих молекул при высоком содержании донора CCl₄. Добавление N₂ или воздуха в количестве до 10 Torr слабо влияет на люминесцентные характеристики газовой смеси Xe–CCl₄ атмосферного давления. В „жидких“ смесях при низких уровнях энерговклада в газ — в 2000 раз меньших, чем в работах [3,4], наблюдается стимулированное излучение во всей полосе люминесценции 430–550 nm молекулы Xe₂Cl^{*} на переходах из состояний 2²B₂ и 4²Г, и отсутствует заметное внутривибрационное поглощение светового излучения.

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 12-02-00382-а.

Авторы выражают глубокую благодарность Б.П. Меркулову (ООО Плазма, г. Рязань) за техническую помощь и полезные консультации по работе импульсного ускорителя электронов и Ю.А. Дюжову (ГНЦ ФЭИ, г. Обнинск) за предоставленный комплект лазерных зеркал.

Список литературы

- [1] Мухеев Л.Д. // Квантовая электроника. 2005. Т. 35. № 11. С. 984–986.
- [2] Kolts J.H., Velazco J.E., Setser D.W. // J. Chem. Phys. 1979. V. 71(3). P. 1247–1263.

- [3] *Tang K.Y., Lorents D.C., Huestis D.L.* // *Appl. Phys. Lett.* 1980. V. 36 (5). P. 347–349.
- [4] *Tittel F.K., Wilson W.L., Stickel R.E.* // *Appl. Phys. Lett.* 1980. V. 36 (5). P. 405–407.
- [5] *Миськевич А.И., Го Цзиньбо* // *Оптика и спектроскопия.* 2012. Т. 113 (6). С. 1–8.
- [6] *Stevens W.J., Krauss M.* // *Appl. Phys. Lett.* 1982. V. 41 (3). P. 301–303.