

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ NaCl ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ЭКСИТОНОВ ИЗЛУЧЕНИЕМ H₂ ВУФ ЛАЗЕРА

*И. Н. Князев, Ю. А. Кудрявцев, Н. П. Кузьмина,
В. С. Летохов, В. Г. Мосшев, А. Г. Молчанов*

Впервые сообщается о применении H₂-лазера вакуумного ультрафиолета ($\lambda = 1610\text{Å}$) для резонансного возбуждения экситонов высокой плотности $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$ в кристаллах NaCl и о наблюдении полосы фотолюминесценции с максимумом при $5,23 \pm 0,03 \text{ эв}$, которая приписывается излучательной аннигиляции автолокализованного биекситона.

1. Разработка H₂-лазера вакуумного ультрафиолета (ВУФ), пригодного для использования в физическом эксперименте [1] открывает возможность интенсивного резонансного возбуждения линий в широкозонных материалах к которым, в частности, относятся щелочно-галогидные кристаллы. В настоящей работе исследована люминесценция кристаллов NaCl, в которых излучение H₂-лазера попадает в полосу поглощения нижнего экситонного уровня $1S_{3/2}$.

2. Возбуждение кристаллов NaCl осуществлялось с помощью H₂-лазера, спектр которого состоял из ~ 10 близко расположенных друг к другу линий в области $7,7 \text{ эв}$ (1610Å), с энергией лазерного импульса $\sim 10 \text{ мкдж}$, длительностью импульса $0,5 \text{ нсек}$, при частоте повторений 10 гц и угловой расходимостью излучения 1° . Лазерное излучение фокусировалось на площадку размером $0,5 \times 4 \text{ мм}^2$ на полированную поверхность кристалла NaCl, охлаждаемого жидким азотом. Люминесценция кристалла регистрировалась в диапазоне длин волн $\lambda > 2000\text{Å}$ с помощью монохроматора ВМС-1 и ФЭУ с временным разрешением 40 нсек . Квантовый выход люминесценции оценивался путем сравнения интенсивности люминесценции NaCl с интенсивностью люминесценции кристаллов ZnS с известным квантовым выходом. Люминесценция с квантовым выходом меньше $0,1\%$ не могла быть зарегистрирована из-за помех. Температура кристалла измерялась градуированной термпарой, закрепленной на кристалле. Использовались кристаллы без заметных полос поглощения в области $2000 + 3000 \text{ Å}$.

3. При лазерном возбуждении в спектре люминесценции NaCl при температуре 100K наблюдается полоса люминесценции с максимумом в области $5,23 \pm 0,03 \text{ эв}$ (2360Å), с квантовым выходом около $0,2$ и спектральной шириной $0,53 \text{ эв}$ (250Å) (рис. 1). Длительность люминесценции этой полосы не превышала времени разрешения 40 нсек . Других полос люминесценции с квантовым выходом больше $0,5\%$ не обнаружено. При увеличении температуры начиная с $T = 150\text{K}$ наблюдается резкий спад

интенсивности люминесценции (рис. 2). При комнатной температуре наблюдается слабая люминесценция в области $2,8 \text{ эв}$ (4400 \AA) с квантовым выходом $\sim 0,3\%$.

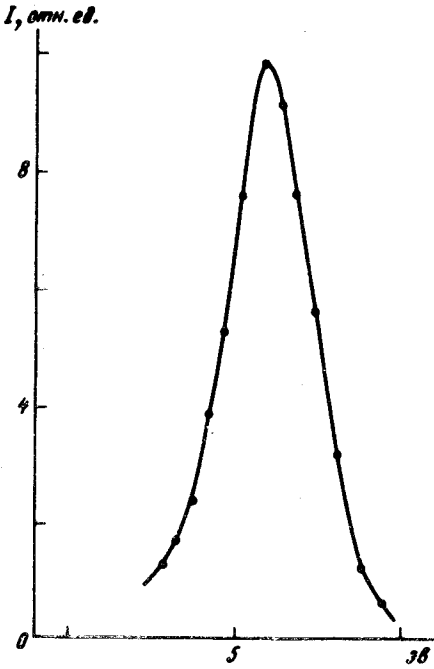


Рис. 1. Спектр люминесценции кристалла NaCl ($T = 100\text{K}$) при возбуждении излучением H_2 -лазера с $h\nu = 7,7 \text{ эв}$ ($\lambda = 1610 \text{ \AA}$)

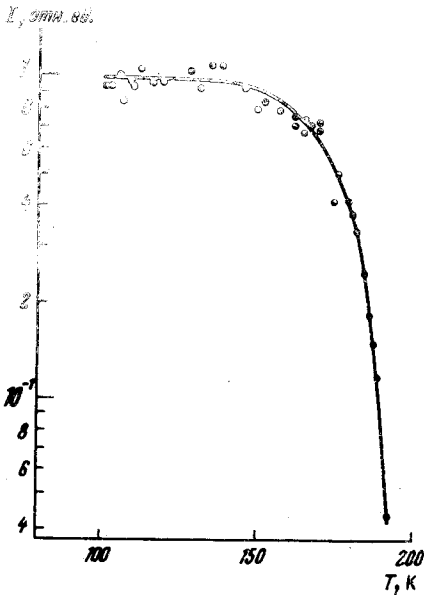


Рис. 2. Зависимость интенсивности люминесценции NaCl в полосе $5,23 \text{ эв}$ от температуры

4. Обнаруженная полоса люминесценции $5,23 \text{ эв}$ не совпадает ни с одной из полос люминесценции NaCl при низких интенсивностях возбуждения и может быть приписана излучательной аннигиляции автолокализованных молекулярных комплексов (автолокализованных биэкситонов), образующихся при столкновении экситонов друг с другом. При слабой

интенсивности возбуждения спектр люминесценции NaCl состоит из двух полос: одной σ -полосы при $5,47 \text{ эв}$ с коротким временем высвечивания $\tau = 5 \cdot 10^{-9} \text{ сек}$ и другой π -полосы при $3,47 \text{ эв}$ с временем высвечивания $\tau = 3 \cdot 10^{-4} \text{ сек}$ [2, 3], которые связаны с излучательной аннигиляцией автолокализованных экситонов σ - и π -типов. На рис. 3 представлена схема люминесценции и структура уровней автолокализованных

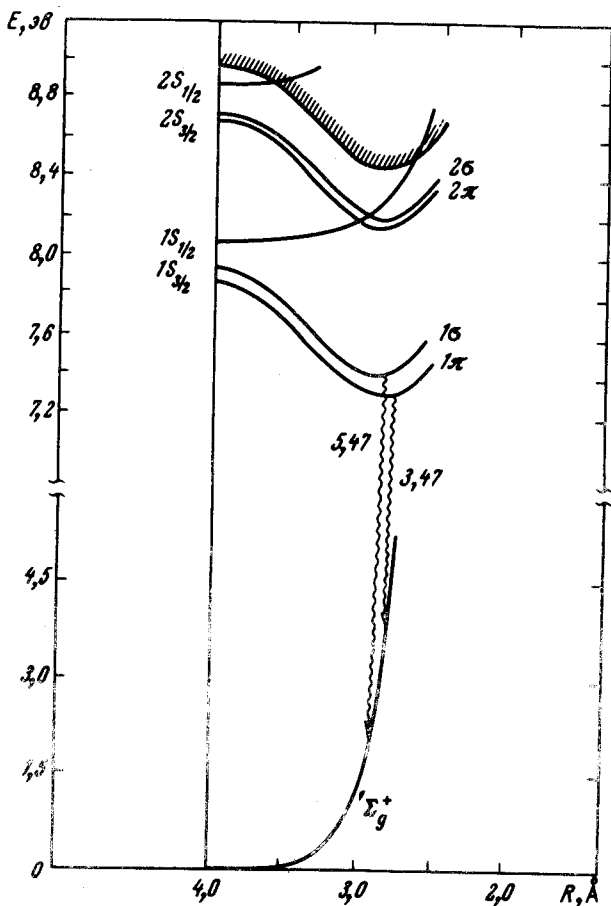


Рис. 3. Структура потенциальных кривых автолокализованных экситонов и схема люминесценции в NaCl

экситонов в NaCl, рассчитанная на основе модели [4], использованной ранее для объяснения механизма люминесценции кристаллического ксенона. Появление при высокой интенсивности возбуждения вместо двух полос одной полосы с коротким временем высвечивания и сдвинутой в длинноволновую сторону относительно полосы излучения 1σ -автолокализованного экситона на $0,24 \text{ эв}$ можно объяснить образованием автолокализованных биэкситонов, уровень энергии которых лежит ниже уровней энергии 1π - и 1σ -экситонов. Согласно работе [5] энергия связи биэкситона в пределе малого отношения эффективной массы электрона к массе дырки равна $G_B = 0,298 G_{ex}$, где G_{ex} — энергия связи экситона, и составляет для NaCl величину $G_B \approx 0,3 \text{ эв}$, что значительно превышает расстояние между уровнями энергии 1π - и 1σ -экситонов ($\sim 0,04 \text{ эв}$) и близко к наблюдаемому сдвигу $0,24 \text{ эв}$.

Отметим, что обнаруженная нами полоса люминесценции $5,23 \text{ эв}$ в пределах ошибок совпадает с полосой люминесценции $5,26 \text{ эв}$, обнаруженной в работе [6] при интенсивном возбуждении кристаллов NaCl пучком быстрых электронов. Укорочение времени высвечивания люминесценции, по сравнению с известными временами высвечивания σ - и π -полос автолокализованных экситонов, отмеченное в работе [6], находится в согласии с нашей интерпретацией о биэкситонном происхождении полосы $5,23 \text{ эв}$, так как связывание экситона в биэкситон сильно увеличивает вероятность его излучательной рекомбинации [7].

Автолокализованные биэкситоны могут образовываться при столкновении свободного и автолокализованного или двух свободных экситонов и последующей его автолокализацией. Этот процесс должен приводить к изменению спектра краевой люминесценции [8] при высоких плотностях экситонов. Излучение автолокализованных экситонов и биэкситонов в щелочно-галогидных кристаллах может быть использовано также для получения генерации в УФ области спектра. Отметим, что в рассматриваемом способе резонансного возбуждения экситонов в NaCl H_2 -лазером, когда плотность свободных экситонов достигала величины $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, возможно индуцированное излучение квантов с энергией $\sim 6,9 \text{ эв}$ при неупругих столкновениях свободных экситонов друг с другом с ионизацией одного из экситонов.

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
21 мая 1975 г.

Литература

- [1] В.С. Антонов, И.Н. Князев, В.С. Летохов, В.Г. Мовшев. Письма в ЖЭТФ, 17, 545, 1973.
- [2] M.V. Kabler, D.A. Paterson. Phys. Rev. Lett., 19, 652, 1967.
- [3] D. Poley, W.A. Runciman. J. Phys. C. Solid St. Phys., 3, 1815, 1970.
- [4] А.Г. Молчанов. Краткие сообщения по физике (ФИАН), №4, 9, 1972; УФН, 106, 165, 1972.
- [5] O. Akimoto, E. Hanamura. Solid State Comm., 10, 253, 1972.
- [6] В.Т. Шкатов, Д.И. Вайсбурд, Л.А. Плом. ФТТ, 16, 3722, 1974.
- [7] А.А. Гоголин, Э.И. Рашба. Письма в ЖЭТФ, 17, 690, 1973.
- [8] И.Л. Куусман, П.Х. Либлик, Ч.Б. Лушик. Письма в ЖЭТФ, 21, 161, 1975.