

ЛАЗЕРНОЕ ДЕЙСТВИЕ В α -Si:H

*А.М.Данишевский, В.Латинис, С.Юрценас, В.И.Гаврюшин,
М.М.Мездрогина, Е.И.Теруков*

*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН
194021, Санкт-Петербург*

Поступила в редакцию 25 мая 1992 г.

При измерениях спектров фотолюминесценции на пленках аморфного гидрогенизированного кремния ($T \sim 80$ К) с интенсивным пикосекундным возбуждением наблюдалось лазерное действие между определенными энергетическими состояниями в хвостах зон. Выбор энергии генерации определяется селективным резонатором, выделенные энергии которого связаны с толщиной пленки.

Фотолюминесценция аморфного гидрогенизированного кремния исследована достаточно подробно как при непрерывном, так и при импульсном возбуждении^{1,2}. Обычный спектр собственной фотолюминесценции представляет собой широкую спектральную полосу (0,22–0,25) эВ с максимумом около 1,33–1,35 эВ (80 К). Кроме того, имеется небольшая полоса дефектной люминесценции с максимумом 0,9 эВ и также достаточно широкая.

В случае импульсного (длительность импульсов несколько наносекунд) возбуждения² максимум полосы собственной люминесценции в начальные моменты времени оказывается вблизи 1,4 эВ, а коротковолновый "хвост" ее достигает при значительном уровне возбуждения энергии 1,6 эВ.

Как правило, спектры люминесценции измеряются на пленках, осажденных на матированных подложках для исключения возможных проявлений интерференционных эффектов. При этом во всех известных нам случаях полоса собственной люминесценции была широкой и бесструктурной.

В данной работе исследовались спектры фотолюминесценции с интенсивным пикосекундным возбуждением на нескольких нелегированных образцах α -Si:H, осажденных на полированную кварцевую подложку. Образцы были получены в тетродной системе в высокочастотном тлеющем разряде при разложении чистого силана, температура подложки равнялась 280°С. Оптическая ширина энергетического зазора в использованных для эксперимента образцах составляла 1,85–1,9 эВ, а энергия Ферми отстояла от дна зоны проводимости на 0,8–0,95 эВ. Концентрация собственных дефектов не превышала $8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Приведенные результаты получены на образце с минимальной концентрацией дефектов ($N_d = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$), наименьшим энергетическим параметром урбаховского хвоста ($E_u = 50 \text{ мэВ}$) в спектре поглощения и энергией активации 0,92 эВ. Исходя из наличия участка УФ фотопроводимости для пленки с толщиной 0,95 мкм, можно сделать вывод о малой скорости поверхностной рекомбинации и отсюда о бесстолбчатости пленки.

Возбуждение образцов осуществлялось излучением второй гармоники YAG:Nd-лазера ($h\nu = 2,33 \text{ эВ}$), работавшего в режиме одиночных пикосекундных импульсов (35 пс) с частотой 2 Гц. Образцы устанавливались на холодопровод азотного вакуумного криостата. Температура их была 80 К. Измерения проводились в геометрии "на отражение" от поверхности пленки. Регистрация спектров люминесценции осуществлялась с помощью монохроматора МДР-2 с ФЭУ-83. Во избежание регистрации рассеянного света возбуждающих импульсов на его переднюю щель устанавливался фильтр ОС-14, а на линзу, фокусирующую рекомбинационное излучение на переднюю щель монохроматора - фильтр ОС-12. Электрические сигналы с ФЭУ поступали на широкополосный

усилитель с полосой пропускания $(0,7 - 10) \cdot 10^6$ Гц и далее на стробирующий преобразователь В9-5, с которого оцифрованные сигналы через блоки "Камак" попадали на микроЭВМ ДВК-2. При записи спектра, каждая спектральная точка получалась в результате усреднения по 30 - 40 импульсам в заданном интервале амплитуд возбуждающих импульсов.

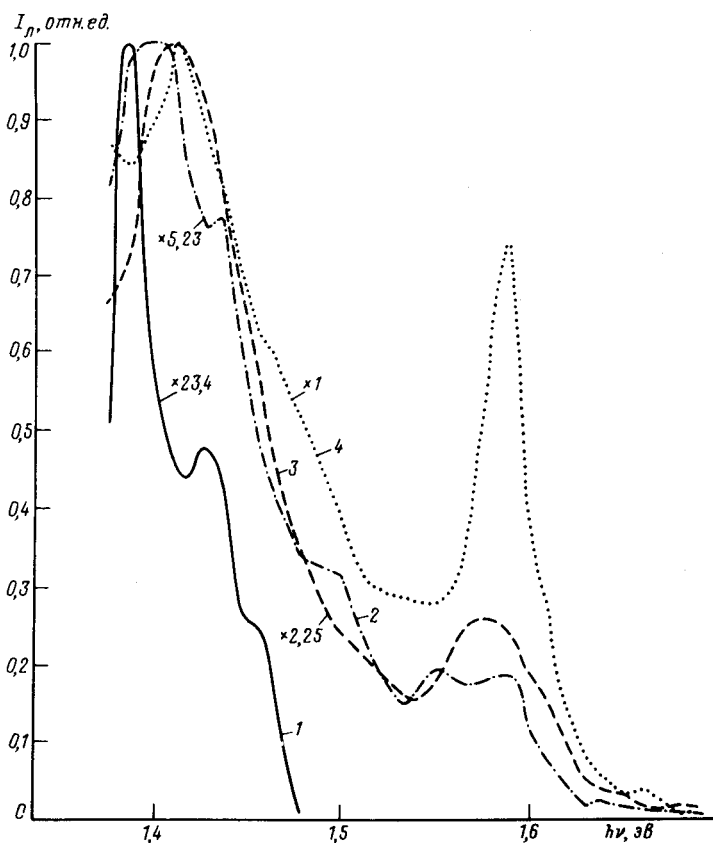


Рис.1. Спектры фотолюминесценции образца α -Si:H (M912) при интенсивном пикосекундном возбуждении, $T = 80\text{K}$. Средняя энергия возбуждающих импульсов: 1 - 1,1 мкДж, 2 - 2,25 мкДж, 3 - 6,45 мкДж, 4 - 17 мкДж

На рис.1 приведены спектры люминесценции образца M912, полученные в описанных выше условиях при четырех значениях энергии возбуждающих импульсов. Все четыре спектра измерены с задержкой 80 нс от начала импульса¹⁾.

Спектр 1, полученный при минимальных интенсивностях импульсов возбуждения, как видно из рисунка, оказался существенно более узким в сравнении с 2, причем ширина линии 1,39 эВ менее 20 мэВ. Спектр 2, полученный при более высокой интенсивности возбуждающего излучения, оказался существенно

¹⁾Переходная характеристика использованного усилителя ФЭУ не позволяла задать истинный момент стробирования оптического импульса люминесценции. Однако спектры, полученные при различных задержках строга, существенно различались.

шире, максимум и коротковолновая часть спектра сдвинуты в область более высоких энергий ($h\nu = 1,405$ эВ), уширение основной полосы неоднородное, можно предположить, что оно является результатом наложения двух более узких полос с энергиями 1,395 и 1,41 эВ. В спектре имеется еще несколько небольших максимумов. Спектр 3, полученный при еще более высокой интенсивности возбуждения, еще более уширен, основной его максимум имеет место при энергии 1,415 эВ, а при энергии 1,59 эВ возникает довольно широкая полоса излучения. Максимум спектра 4 также имеет энергию 1,415 эВ, далее с коротковолновой стороны имеется плечо, а при энергии 1,59 эВ теперь возникает узкий интенсивный пик.

Следует также обратить внимание на существенно сверхлинейное нарастание полос люминесценции от интенсивности накачки в области относительно малых интенсивностей (спектры 1 и 2) и значительное выполаживание этой зависимости (в окрестности основной полосы) при больших интенсивностях возбуждающего излучения.

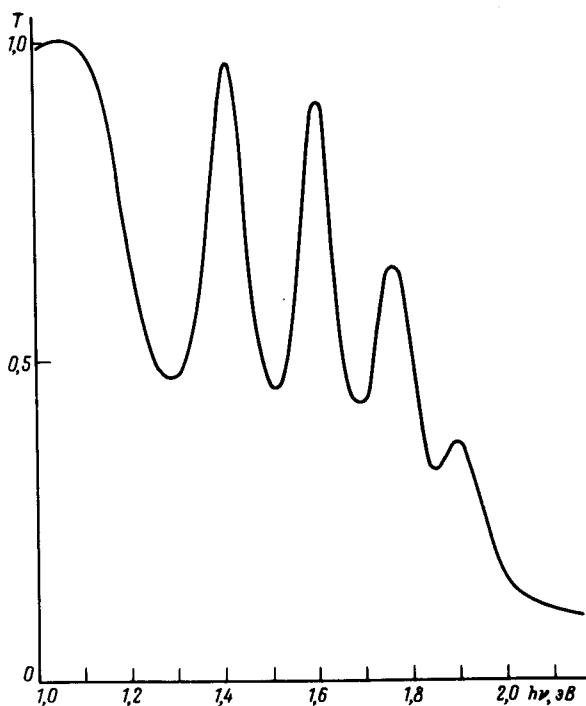


Рис. 2. Спектр пропускания образца α -Si:H (M912), $T = 300$ K

Оценки показывают, что даже в случае минимальной интенсивности накачки избыточная концентрация носителей, возбужденных за один импульс, превышает 10^{19} см^{-3} . Поэтому, исходя из характера приведенных спектров, можно предположить, что уже при наименьших интенсивностях возбуждения в пленке имеет место лазерный эффект в окрестности энергии 1,39 эВ. С увеличением интенсивности накачки осуществляется расширение всего спектра люминесценции в область больших энергий квантов. Полоса 1,39 эВ, по-видимому, насыщается, но при этом лазерное действие возникает на близлежащих пере-

ходах и спектральная полоса в окрестности 1,4эВ уширяется и сдвигается в коротковолновую сторону. Указанное поведение спектра связано с тем, что с ростом темпа генерации в указанном диапазоне заполняются состояния в хвостах зон, причем характерные времена "рассасывания" этой населенности довольно велики (микросекунды). При достаточно больших интенсивностях I , когда все нижние состояния оказываются заполненными, разгорается лазерное действие в полосе 1,59эВ.

В этой связи возникает вопрос, чем выделены в спектре люминесценции энергии в окрестности 1,4 и 1,59эВ? Ответ на этот вопрос дали измерения спектра пропускания пленок. На рис.2 приведен спектр $T(h\nu)$ для образца M912. В области его прозрачности имеются интерференционные максимумы, причем в диапазон спектра люминесценции попадают два из них с энергиями в пике пропускания 1,405 и 1,59эВ. Таким образом, в окрестности указанных энергий пленка представляет собой одномодовый резонатор с очень малыми потерями, что способствует выделению указанных энергий в спектре суперлюминесценции.

Спектры люминесценции, полученные при задержке строба 180нс аналогичны приведенным, однако при еще большей задержке (580нс) узкие полосы в спектре почти исчезают, то есть инверсная населенность успевает релаксировать.

-
1. R.A.Street, Adv. Phys. **30**, 593 (1981).
 2. S.Kurita, M.Czaja. and S.Kinmond, Sol. St. Commun. **32**, 879 (1979).