

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА И КАНАЛОВ РЕЛАКСАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПЛЕНКАХ

Прудников А.М., Варюхин В.Н., Шалаев Р.В.*, Изотов А.И.

Донецкий физико-технический институт НАНУ, Украина,

ул.Р.Люксембург 72, Донецк, 83114 Украина

*E-mail: sharos@mail.ru

Введение

В последнее десятилетие в связи с развитием техники волоконно-оптической связи наблюдается сильный интерес к созданию новых пленочных источников и усилителей когерентного излучения. Первой проблемой в этой области остается повышение интенсивности излучения и эффективности возбуждения на длине волны 1,54 мкм, соответствующей минимуму затухания и дисперсии в кварцевых световодах. Вторая проблема - увеличение когерентности, монохроматичности и направленности излучения наноразмерных структур для нанофотоники.

Первая проблема в первом порядке решена для полупроводниковых наноструктур (пористый и нанокристаллический кремний, a-Si:H, SiGe/Si, GaN и др., легированные эрбием). Вторая задача обычно решается для монокристаллических матриц (например, гранатовые монокристаллические пленки, легированные редкими землями), однако в них сильно проявляется концентрационное тушение. Поэтому трудно получить очень высокую удельную мощность излучения.

Результаты и обсуждение

В данной работе исследованы механизмы влияния матрицы CN_xO_y на эффективность люминесценции с длиной волны 1,54 мкм ионов Er^{3+} в нанокристаллах ErO_xN_y . Для выяснения конкретных каналов переноса энергии электронного возбуждения и проведения количественных оценок вероятностей этих процессов проведены экспериментальные исследования характеристик люминесценции при высоких давлениях, которые приводят к сильному изменению энергетического спектра и заселенности лазерных уровней иона Er^{3+} . Пленки $CN_xO_y:Er,Si$ получены по золь-гельной технологии [1].

Для создания высокого давления использовались камеры с алмазными и сапфировыми наковальнями, позволяющие получать давления до 15 ГПа. Фотообработка в

камере высокого давления производилась как импульсным, так и непрерывным излучением лазера с длиной волны 442, 532, 630 и 1060 нм и плотностью мощности излучения до 10^4 Вт/см².



Рис. 1. Камера высокого давления с сапфировыми наковальнями ($P=10$ ГПа, $\epsilon=10^4$ Вт/см²).

Воздействуя высоким давлением и излучением лазера, удается формировать оптически активные нанокристаллические кластеры в аморфных углеродных пленках $CN_xO_y:Er,Si$. Обнаружена нелинейная зависимость концентрации кластеров от дозы и времени обработки. Исследованы оптические спектры поглощения углеродных пленок $CN_xO_y:Re$ с различной концентрацией оптически активных нанокристаллических кластеров после фотобарической обработки.

Экспериментально были исследованы спектры люминесценции пленок $CN_xO_y:Er,Si$ в областях спектра 2,7-2,8 мкм (переход $^4J_{11/2} \rightarrow ^4J_{13/2}$); 0,96-1,15 мкм ($^4J_{11/2} \rightarrow ^4J_{15/2}$) и 1,47-1,67 мкм ($^4J_{13/2} \rightarrow ^4J_{15/2}$). Как известно [2], последний лазерный переход сильно потушен и обычно не используется. Однако, в наших экспериментах при давлениях в несколько ГПа (оптическая камера с алмазными наковальнями) было обнаружено увеличение интенсивности люминесценции с увеличением давления. А при давлении 12,1 ГПа наблюдалась сверхлюминесценция на переходе $^4J_{13/2} \rightarrow ^4J_{15/2}$ (1,54 мкм) с одновременным

тушением люминесценции на переходах $^4J_{11/2} \rightarrow ^4J_{13/2}$ и $^4J_{11/2} \rightarrow ^4J_{15/2}$. (рис.2).

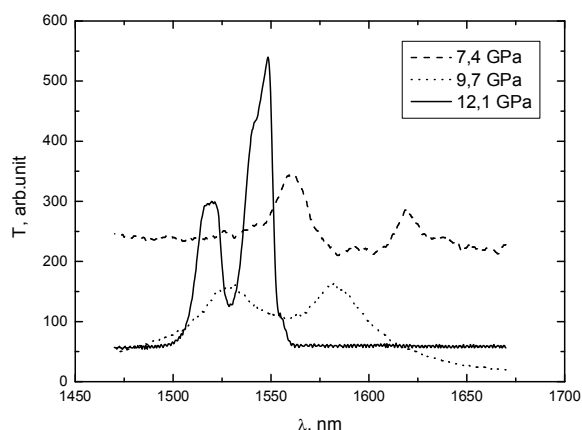


Рис. 2. Спектр излучения пленок $CN_xO_y:Er,Si$ в области перехода $^4J_{13/2} \rightarrow ^4J_{15/2}$ ионов Er^{3+} .

Для понимания природы фотолюминесценции были исследованы абсорбционные спектры пленок $CN_xO_y:Er,Si$ при различных давлениях (рис. 3). Как видно из рисунка полосы поглощения матрицы CN_xO_y сильно смещаются относительно энергетических уровней иона Er^{3+} при изменении давления, что приводит к изменению перекрытия полос поглощения матрицы и уровней иона Er^{3+} . Это перекрытие изменяет заселенность лазерных уровней и уменьшает роль процессов межионного взаимодействия, ответственных за перенос энергии (самогашение и cr -конверсию на вышележащие уровни $^4J_{9/2}$, $^4F_{9/2}$, $^4S_{3/2}$ и др.). Условия эффективного осуществления кроссрелаксационного механизма межионного взаимодействия, согласно работе [3], заключаются в отношении минимально возможной принимаемой энергии от активатора к максимально возможной отдаваемой энергии. Энергия, которую может отдать ион Er^{3+} при переходе $^4J_{11/2} \rightarrow ^4J_{13/2}$, согласно измерениям спектров поглощения и люминесценции, составляет величину E_{max} 3500-3700 cm^{-1} , а минимально

принимаемую от матрицы $CN_xO_y \sim 100 \text{ cm}^{-1}$. Поэтому наблюдается сильное изменение вероятности безизлучательного переноса энергии с уровней $^4J_{11/2}$ и $^4J_{13/2}$.

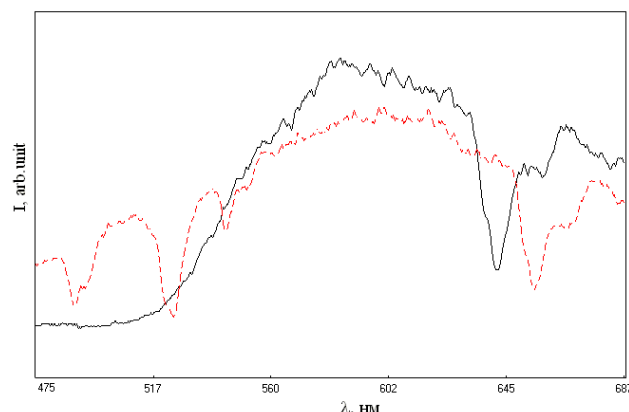


Рис.3. Спектр поглощения пленок $CN_xO_y:Er,Si$ при нормальном давлении (пунктир) и давлении 7,4 ГПа.

Выводы

1. Выделен новый оптически активный центр ErO_xN_y , формирующий линейчатый спектр фотолюминесценции в спектральной области 1,5 мкм (0,83 эВ). Проведен анализ его энергетической структуры.
2. Зарегистрировано аномальное сжатие штарковского расщепления уровней иона Er^{3+} связанное с сильной пространственной локализацией.
3. Экспериментально показана возможность радикального увеличения эффективности светоизлучающих наноструктур в графитовых пленках при фотобарической обработке.

Литература

1. Суйковская Н.В. Химические методы получения тонких прозрачных пленок. -Л.:Химия, 1991.-198с.
2. Каминский А.А., Иванов А.О., Саркисов С.Э. //ЖЭТФ, т.71, №3, с.984-1002 (1976).
3. Денкер Б.И., Осико В.В., Прохоров А.М. // Квант.электрон., т.5, №4, с.847-855. (1978).