

ЧАСТОТНАЯ СЕЛЕКЦИЯ ИОНОВ Nd^{3+} В СТЕКЛЕ
ПРИ МОНОХРОМАТИЧЕСКОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ
НА РЕЗОНАНСНОМ ПЕРЕХОДЕ ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4F_{3/2}$

*Т.Т.Басиев, Ю.К.Воронько, С.Б.Миров,
А.М.Прохоров*

В работе при помощи недавно созданного импульсно-периодического перестраиваемого лазера впервые осуществлена резонансная частотная селекция ионов Nd^{3+} в фосфатном стекле на резонансном переходе ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4F_{3/2}$. Построена диаграмма штарковских расщеплений уровней ${}^4F_{3/2}$ и ${}^4I_{9/2}$ для коллектива спектрально неэквивалентных центров Nd^{3+} . Анализ временных эволюций в спектрах люминесценции после мгновенного лазерного возбуждения демонстрирует характер взаимодействий ионов Nd^{3+} с участием фононов, приводящий к спектральной миграции энергии в длинноволновую область спектра.

Метод селективного лазерного возбуждения люминесценции открывает новые возможности в исследовании оптических сред с неоднородным уширением спектров [1]. До последнего времени отсутствие подходящих лазерных источников света препятствовало исследованию спектрально-кинетических свойств люминесценции ионов Nd^{3+} при резонансном монохроматическом возбуждении. В работе [2] нами сообщалось о создании импульсно-периодического перестраиваемого лазера на кристалле LiF с F_2^+ центрами. При использовании селективного резонатора с дифракционной решеткой лазер генерирует импульсы света длительностью $6 \cdot 10^{-9}$ сек с частотой 50 Гц, шириной линии 2Å и областью перестройки $8700 - 9900\text{Å}$. Применение трехпризменного дисперсионного резонатора с более высокой добротностью позволило расширить область генерации до $8550 - 9990\text{Å}$, но при некотором увеличении ширины линии генерации. Разработка такого лазера впервые позволяет проводить частотную селекцию ионов Nd^{3+} резонансным монохроматическим светом¹⁾.

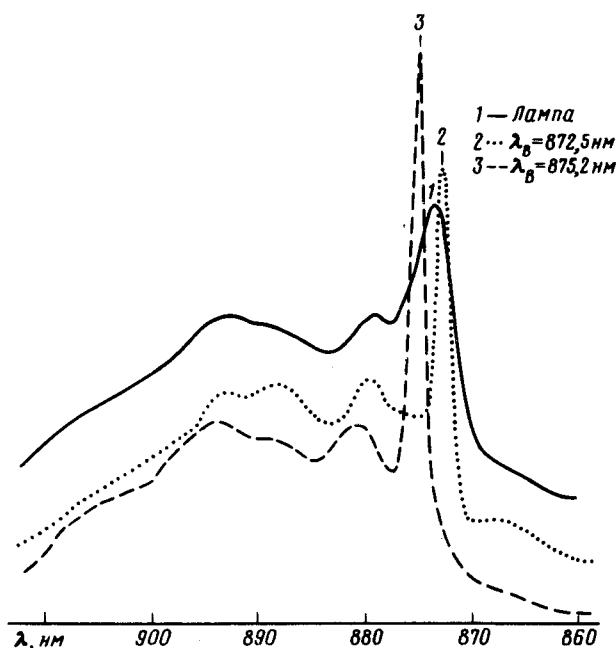


Рис. 1. Спектры люминесценции ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ ионов Nd^{3+} при широкополосном — кривая 1 — и резонансном монохроматическом возбуждении: кривая 2 — $\lambda_B = 8725\text{Å}$, кривая 3 — $\lambda_B = 8752\text{Å}$ $T = 77\text{K}$, $t_3 = 40$ мксек, $n(\text{Nd}) = 2,7 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$

¹⁾ Одновременно с нами селективное лазерное возбуждение ионов Nd^{3+} на резонансном переходе осуществлено при помощи перестраиваемого полупроводникового лазера [3].

В данном сообщении мы представляем первые результаты исследования структуры неоднородноуширенных полос и миграции электронного возбуждения по метастабильным уровням ${}^4F_{3/2}$ ионов Nd^{3+} при резонансном монохроматическом возбуждении на переходе ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4F_{3/2}$.

Объектом исследования выбрано Li-La-Nd-фосфатное стекло, допускающее введение больших концентраций Nd^{3+} и обладающее меньшими составляющими неоднородного уширения по сравнению с силикатными стеклами, что затрудняет его исследование методом нерезонансного монохроматического возбуждения [4].

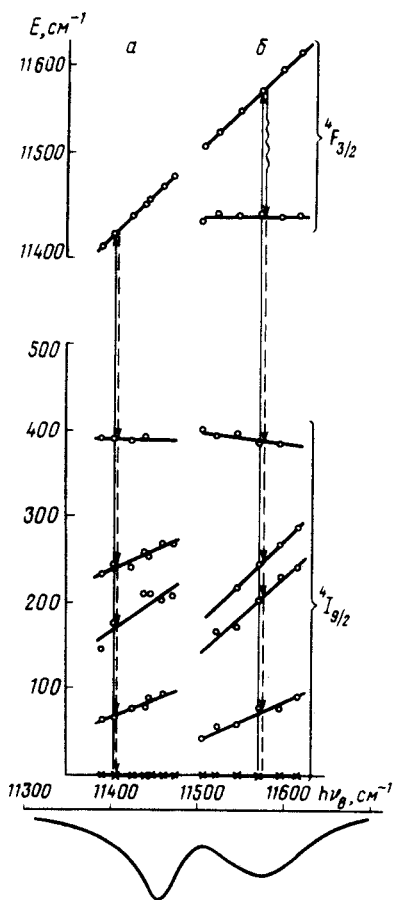


Рис. 2. Обзорные диаграммы штарковских расщеплений уровней ${}^4F_{3/2}$ и ${}^4I_{9/2}$: а – возбуждение на нижнюю штарковскую компоненту ${}^4F_{3/2}$, б – возбуждение на верхнюю штарковскую компоненту ${}^4F_{3/2}$

Характерные спектры люминесценции ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ ионов Nd^{3+} при широкополосном и при монохроматическом резонансном возбуждении $\lambda_{\text{в}} = 8725 \text{ \AA}$ и $\lambda_{\text{в}} = 8752 \text{ \AA}$ приведены на рис. 1 $T = 77 \text{ K}$. Видно, что селективное возбуждение приводит к резкому сужению спектральных линий люминесценции (в особенности резонансной), положение которых существенным образом определяется длиной волны возбуждающего света. Это указывает на скоррелированность энергетических положений ряда штарковских подуровней электронных состояний ${}^4F_{3/2}$ и ${}^4I_{9/2}$ и позволяет построить обзорные диаграммы штарковских расщеплений для набора спектральнонеэквивалентных центров Nd^{3+} в стекле. В нижней части этой диаграммы на рис. 2 приведен спектр поглощения на переходе ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4F_{3/2}$, на котором осуществляется селективное возбужде-

ние ионов Nd^{3+} . По оси абсцисс отложена частота возбуждающего света, а по оси ординат – энергии штарковских подуровней состояний $^4I_{9/2}$ и $^4F_{3/2}$. Сравнение двух представленных диаграмм показывает различия в формировании неоднородного уширения спектров переходов с участием нижней и верхней компонент метастабильного уровня $^4F_{3/2}$.

Серьезными факторами, требующими учета при наблюдении частотной селекции ионов Nd^{3+} в возбужденном состоянии являются концентрация активных ионов в образце и момент регистрации свечения после его быстрого возбуждения. Так, при высоких концентрациях активатора между ионами Nd^{3+} усиливаются мультипольные взаимодействия, приводящие к безызлучательной миграции энергии электронных возбуждений по метастабильным уровням $^4F_{3/2}$. Этот процесс может приводить к полной потере селективности возбуждения в коллективе спектрально-неэквивалентных центров.

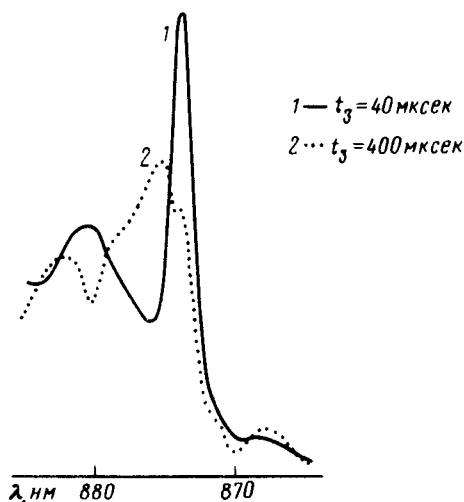


Рис. 3. Временная эволюция спектров люминесценции при резонансном монохроматическом возбуждении $\lambda_{\text{В}} = 8737\text{Å}$ и $T = 77\text{K}$: кривая 1 – $t_3 = 40$ мксек, кривая 2 – $t_3 = 400$ мксек

Временное стробирование сигнала люминесценции при помощи строб-интегратора PAR-162 позволяет наблюдать эффект частотной селекции в спектрах даже при высоких концентрациях Nd^{3+} (в нашем случае $n(\text{Nd}) = 2,7 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$) и по временным эволюциям в спектрах люминесценции исследовать процессы переноса энергии и межионных взаимодействий. На рис. 3 представлены фрагменты спектров люминесценции, записанные в различные моменты времени после резонансного монохроматического возбуждения. Из рисунка видно, что с ростом t_3 от 40 до 400 мксек спектры существенно меняются. Узкая компонента спектра сильно уширяется и сдвигается в длинноволновую сторону. Эти изменения обусловлены миграционными взаимодействиями ионов $\text{Nd}^{3+} \rightleftharpoons \text{Nd}^{3+}$ с участием резонансного перехода $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$ и демонстрируют направленный перенос энергии от высокоэнергетических центров с $\lambda_{\text{Л}} = 8737\text{Å}$ к центрам с меньшей энергией $^4F_{3/2}$ уровня $\lambda_{\text{Л}} = 8753\text{Å}$. Такой выборочный однонаправленный перенос энергии электронных возбуждений может быть объяснен лишь в рамках нерезонансных взаимодействий ионов $\text{Nd}^{3+} \rightleftharpoons \text{Nd}^{3+}$, когда каждый акт безызлучательной передачи энергии сопровождается испусканием фонона. При этом перенос энергии в ко-

ротковолновую область спектра должен требовать поглощения некоторой части энергии из фонованого резервуара. Низкая температура проведения экспериментов $T = 77\text{K}$ обуславливает меньшую эффективность протекания процесса миграции вверх по энергетической шкале с поглощением фононов, чем вниз с испусканием фононов.

Последующие более детальные исследования временных эволюций в спектрах с резонансной частотной селекцией ионов Nd^{3+} позволяет определить важнейшие характеристики межионных взаимодействий, такие, как параметр мультипольности, эффективность и ее зависимость от частотного сдвига.

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

Поступила в редакцию
13 апреля 1979 г.

Литература

- [1] Т.Т.Басиев, Ю.К.Воронько, А.М.Прохоров. Сб. Спектроскопия кристаллов, Л., изд. Наука, 1979 г.
 - [2] Т.Т.Басиев, С.Б.Миров, А.М.Прохоров. ДАН СССР, **246**, №1, 1979.
 - [3] М.В.Глушков, Ю.В.Косичкин, В.В.Осико, Ж.А.Пухлий, И.А.Щербаков. Квантовая электроника, (в печати)
 - [4] О.К.Алимов, Т.Т.Басиев, Ю.К.Воронько, Ю.В.Грибков, А.Я.Карасик, В.В.Осико, А.М.Прохоров, И.А.Щербаков. ЖЭТФ, **74**, 57, 1978.
-