

05;07;12

Безызлучательный перенос энергии от ионов титана (III) к ионам эрбия (III) в алюмосиликофосфатном стекле

© И.М. Батяев, Е.Б. Клещинов

Российский государственный педагогический университет
им. А.И. Герцена, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 17 марта 1997 г.

Синтезирован люминофор на основе алюмосиликофосфатного стекла, активированного эрбием (III) и титаном (III). Показано наличие эффективной сенсibilизации люминесценции эрбия ионами титана в исследованном стекле по каналу ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ($\lambda = 1.538 \mu\text{m}$). Механизм переноса определен как диполь-дипольный. Критическая концентрация переноса составляет 0.032 mol/l , а критическое расстояние переноса — 1.95 nm .

Одним из способов повышения энергетической эффективности и экономичности твердотельных эрбиевых лазеров являются введения в матрицу примесных ионов, способных поглощать энергию в видимой области спектра и передавать ее затем ионам эрбия. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в этом научном направлении [1], поиск новых сенсibilизаторов полуторамикронной люминесценции эрбия по-прежнему остается актуальным [2].

В настоящей работе изучена возможность безызлучательной передачи энергии возбуждения от ионов титана (III) к эрбию в алюмосиликофосфатном стекле. Спектрально-люминесцентные свойства титана (III) в различных стеклообразных матрицах исследовались в [3–6]. В работах [7–10] нами было показано, что в фосфатных стеклах ионы титана являются эффективными сенсibilизаторами люминесценции неодима и иттербия.

Синтез стеклообразной матрицы проводился по методу соосаждения из растворов, обуславливающему высокую степень однородности получаемого стекла. Концентрации ионов-активаторов составляли (в процентах по массе): 0.5% для эрбия и 1% для титана.

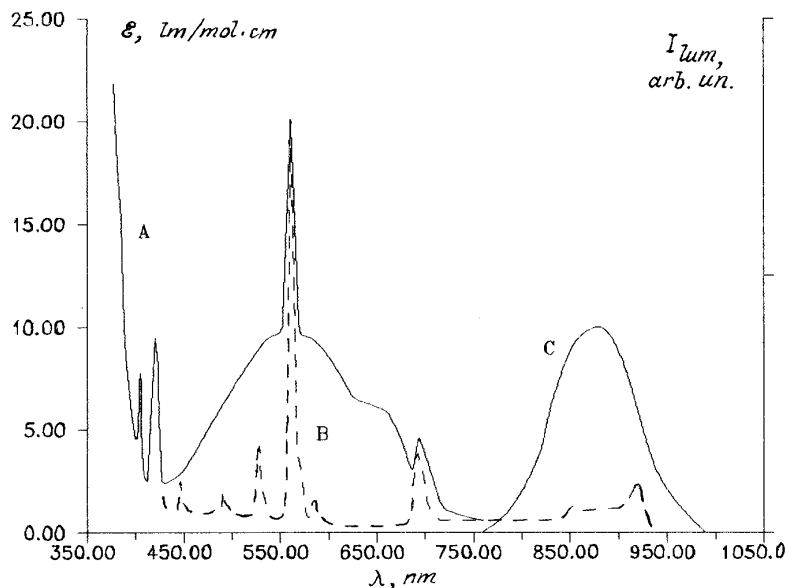


Рис. 1. Спектр поглощения (A, B) и люминесценции (C) алюмосиликофосфатного стекла $Ti^{3+}-Er^{3+}$ (A), Er^{3+} (B) и Ti^{3+} (C).

Нами был проведен ряд экспериментов, которые позволили сделать вывод о наличии эффективной сенсбилизации люминесценции эрбия титаном.

В электронном спектре поглощения полученного стекла (рис. 1, кривая A) наблюдается наложение абсорбционных полос титана и эрбия. Никаких видимых отличий от спектров соответствующих неактивированных ионов в этой же матрице нами не обнаружено. Максимум поглощения титана лежит в области 560 nm. Регистрация спектров люминесценции проводилась на базе спектрометра СДЛ-1 с использованием ФЭУ-79 и оригинального счетчика фотонов с цифроаналоговым преобразователем. В качестве источников возбуждения использовались импульсная лампа ИСШ-100 с монохроматором МДР-2 и гелий-неоновый лазер ЛГН-222 ($\lambda_B = 630$ nm, $P = 55$ mW). Стекла, легированные только ионами титана (без соактиватора), обладают интенсивной люминесценцией в области 750–980 nm (рис. 1, кривая C). В

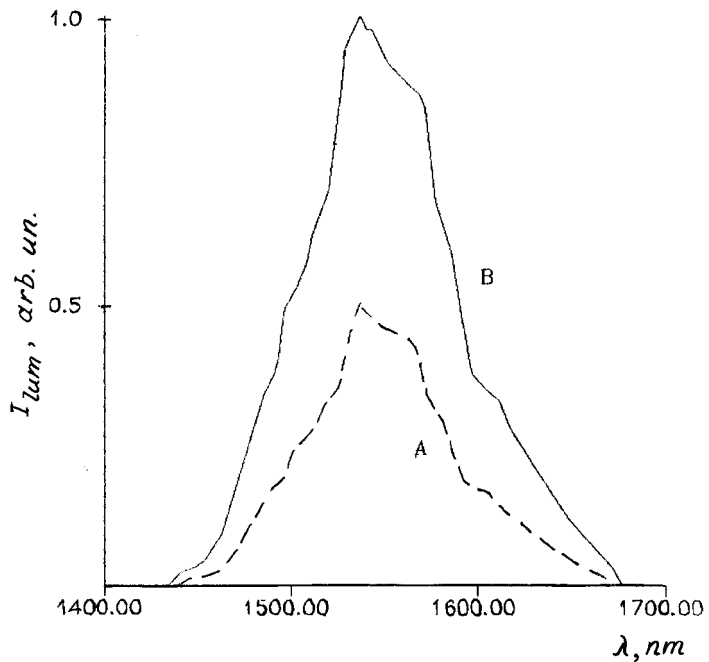


Рис. 2. Спектр люминесценции эрбия в алюмосиликофосфатном стекле Er^{3+} (A) и $\text{Ti}^{3+}\text{-Er}^{3+}$ (B).

спектре люминесценции стекла, соактивированного одновременно Er^{3+} и Ti^{3+} , относительная интенсивность полосы люминесценции титана уменьшается более чем в 10 раз. При этом отмечено увеличение интенсивности люминесценции эрбия на переходе ${}^4\text{I}_{13/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$ ($\lambda = 1.538 \mu\text{m}$) после введения в матрицу ионов титана (рис. 2).

В спектре возбуждения люминесценции иона Er^{3+} в алюмосиликофосфатном стекле $\text{Ti}^{3+}\text{-Er}^{3+}$ (рис. 3) в спектральной области 500–700 nm присутствует полоса, соответствующая поглощению иона Ti^{3+} , что свидетельствует о безызлучательном переносе энергии $\text{Ti}^{3+} \rightarrow \text{Er}^{3+}$. При исследовании кинетики затухания люминесценции было обнаружено сокращение среднего времени жизни возбужденного состояния ионов Ti^{3+} с 6 до $2.5 \mu\text{s}$ в присутствии ионов Er^{3+} . При этом

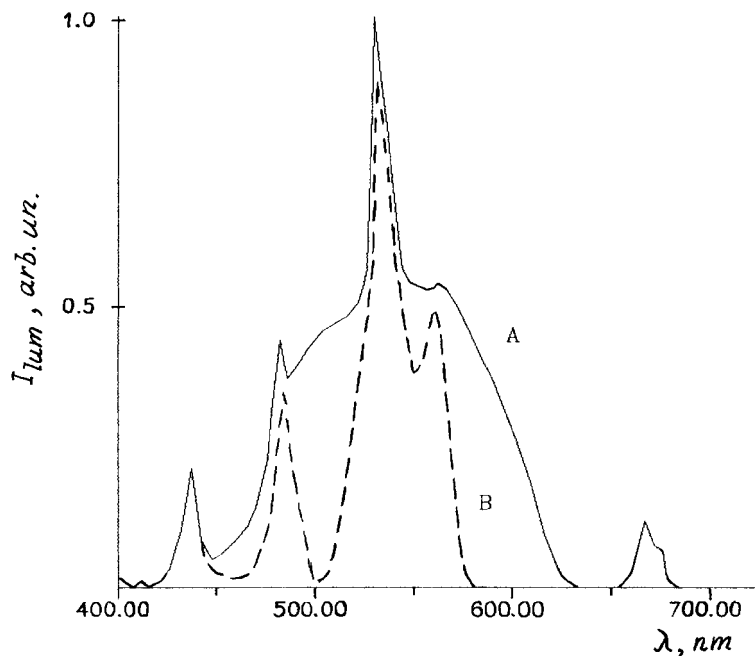


Рис. 3. Спектр возбуждения люминесценции эрбия в алюмосиликофосфатном стекле $Ti^{3+}-Er^{3+}$ (A) и Er^{3+} (B).

кинетическая кривая носит неэкспоненциальный характер. Механизм переноса энергии $Ti^{3+} \rightarrow Er^{3+}$, по всей видимости, диполь-дипольный. Такое утверждение нам позволили сделать соответствующие расчеты по уравнению

$$\rho(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau_{OD}} - \frac{C_A}{C_0} \Gamma\left(1 - \frac{3}{S}\right) \left(\frac{t}{\tau_{OD}}\right)^{3/S}\right), \quad (1)$$

где $\rho(t)$ — закон затухания люминесценции донора; τ_{OD} — средняя длительность затухания люминесценции донора в отсутствии тушения; C_A — концентрация молекул акцептора энергии; t_0 — критическая концентрация переноса энергии; t — время затухания люминесценции донора, нормированное на интенсивность; $\Gamma(x)$ — гамма-функция;

S — постоянная определяемая механизмом безызлучательного переноса энергии. Расчеты, проведенные с использованием вычислительной техники, показали, что уравнение (1) наиболее удовлетворительно описывает экспериментальную кривую кинетики затухания люминесценции титана при предположении диполь-дипольного механизма переноса, когда $S = 6$. Исходя из этого определена критическая концентрация переноса энергии $C_0 = 0.032 \text{ mol/l}$.

По формуле

$$R = \left(\frac{3}{4\pi C_0} \right)^{1/3} \quad (2)$$

было определено критическое расстояние переноса $1R = 1.95 \text{ nm}$.

Таким образом, впервые показана возможность эффективной сенсбилизации люминесценции эрбия ионами титана (III) в стеклах.

Список литературы

- [1] Гапонцев В.П., Громов А.К., Изынеев А.А., Садовский П.И., Ставров А.А., Типенко Ю.С., Шкадаревич А.П. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. N 1.
- [2] Scrano D. // IEEE J. QE, 1996. Т. 32. N 5. P. 628–638.
- [3] Батяев И.М., Суханов С.Б. // Опт. и спектр. 1992. Т. 72. В. 6. С. 1367–1370.
- [4] Батяев И.М., Голодова И.В. // Опт. и спектр. 1994. Т. 77. В. 1. С. 81–83.
- [5] Суханов С.Б. Спектрально-люминесцентные свойства фосфатного стекла, активированного титаном (III) и неодимом (III). Автореф. канд. дис. СПб.: РГПУ, 1994.
- [6] Голодова И.В. Спектрально-люминесцентные и некоторые физико-химические свойства галлийфосфатных стекол, активированных ионами Ti^{3+} и Nd^{3+} . Автореф. канд. дис. СПб.: РГПУ, 1994.
- [7] Батяев И.М., Клецинов Е.Б. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 12.
- [8] Batajev I.M., Sukhanov S.B., Lasor O.A., Kletchinov E.B. // Abstract of XIth conference "Physical methods in coordination chemistry". Kishinev, 1993. P. 85.
- [9] Батяев И.М., Суханов С.Б. // Письма ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 10. С. 38–42.
- [10] Батяев И.М., Голодова И.В. // Опт. и спект. 1995. Т. 78. В. 3. С. 468–470.