



Кинетика полос импульсной катодолюминесценции в $\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ и $\text{Nd:Y}_2\text{O}_3$

Докладчик: Макарова Анна Сергеева,
аспирант, инженер ЛКЭ ИЭФ УрО РАН

Научный руководитель: Соломонов Владимир Иванович,
д.ф.-м.н., в.н.с. ЛКЭ ИЭФ УрО РАН

XXII Конференция молодых ученых ИЭФ УрО РАН
г. Екатеринбург

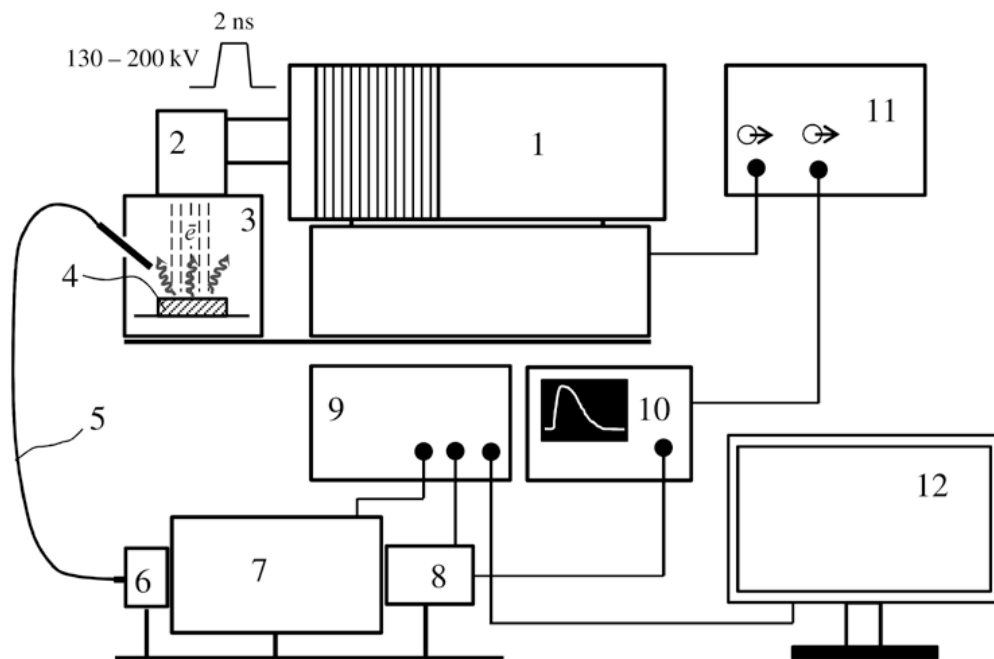
Введение

Цель: определение специфики кинетики полос люминесценции, включающей процессы разгорания и затухания полос импульсной катодолюминесценции (ИКЛ).

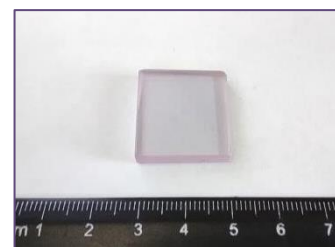
Актуальность: точное определение времени жизни излучательного уровня; использование метода ИКЛ в качестве неразрушающего люминесцентного анализа твердотельных материалов.

Новизна: получение фундаментальных знаний о механизмах возбуждения наносекундным электронным пучком излучательных уровней ионов Nd^{3+} в $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (ИАГ) и Y_2O_3 и определение характерных времен разгорания и затухания полос люминесценции неодима.

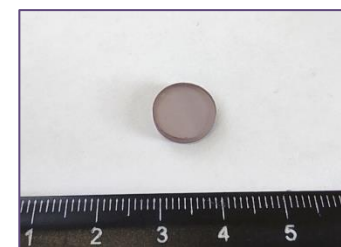
Образцы и экспериментальная аппаратура



Блок-схема экспериментальной установки: 1 – генератор высоковольтных наносекундных импульсов напряжения РАДАН–303, 2 – источник электронного пучка, 3 – экранированная камера, 4 – образец, 5 – волоконный световод, 6 – коллиматор для световода и блок светофильтров, 7 – монохроматор, 8 – ФЭУ, 9 – блок управления и регистрации, 10 – осциллограф, 11 – генератор тактовых импульсов, 12 – ПК.



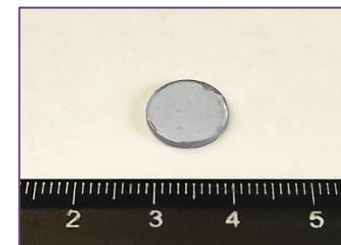
Монокристалл Nd:ИАГ
Содержание Nd: 0,85 ат.%;



Керамика Nd:ИАГ
Содержание Nd: 1 ат.%;



Нанопорошок Nd:Y₂O₃
Содержание Nd: 1 ат.%;



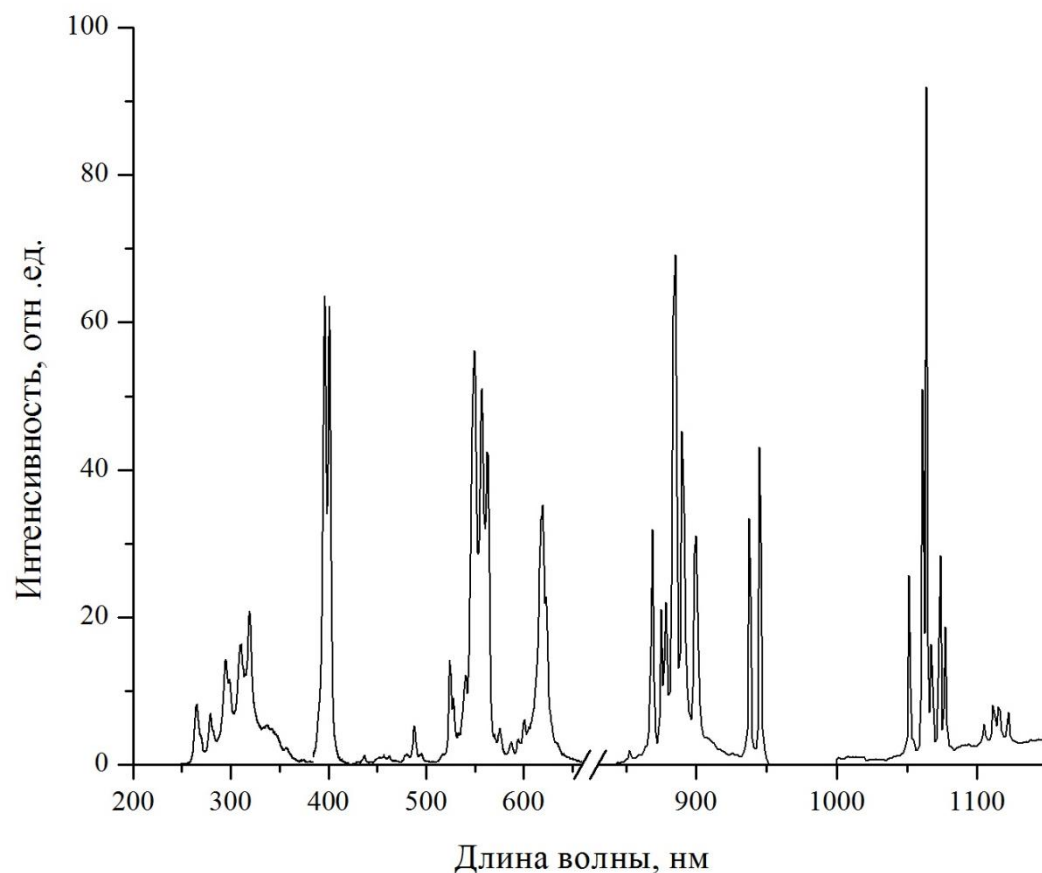
Керамика Nd:Y₂O₃
Содержание Nd: 1 ат.%;

Параметры работы установки

Средняя энергия электронов	150 кэВ;
Длительность импульса	2 нс;
Плотность тока	100 А/см ² ;
Спектральный диапазон	200-1200 нм;
Погрешность измерения	0,5 нм.

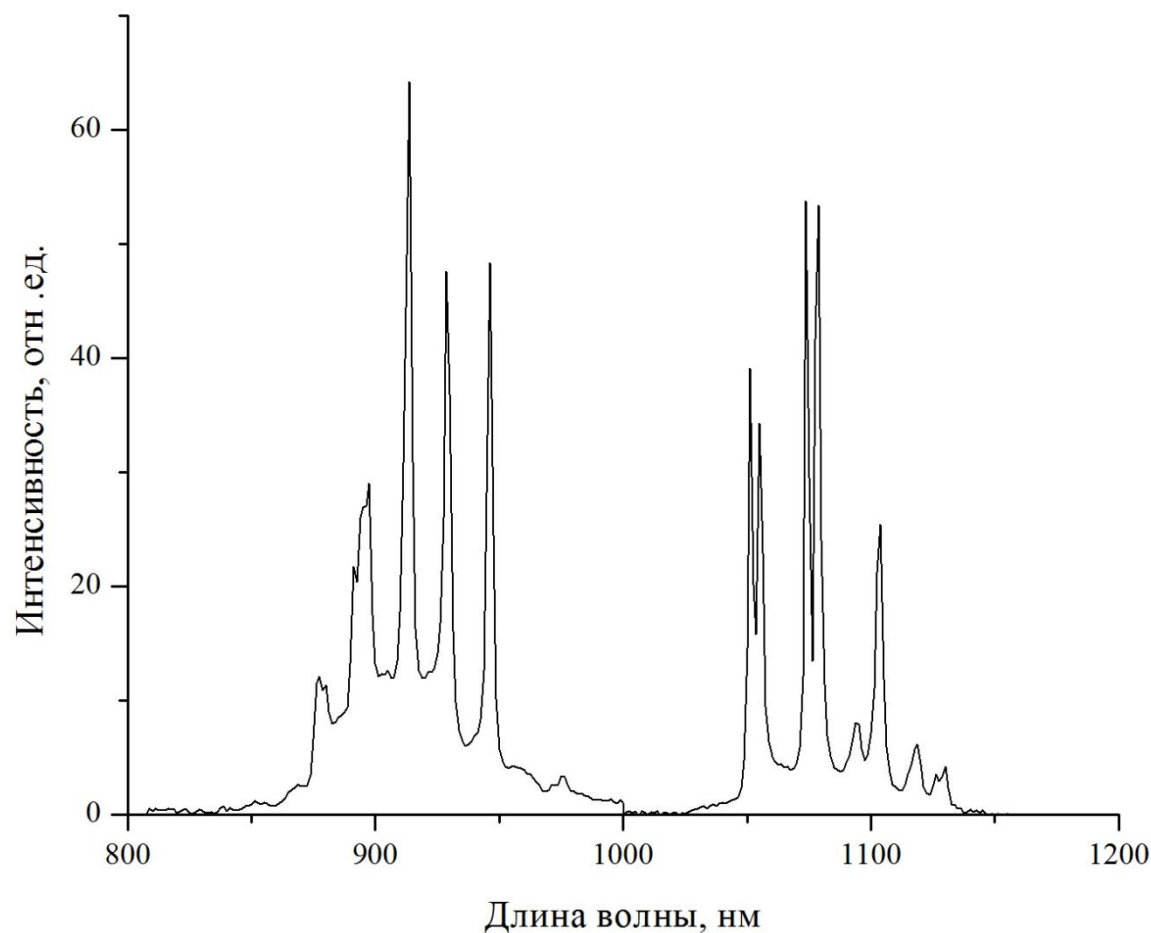
Измерения проводились в воздухе при комнатной температуре образцов.

Люминесценция Nd:ИАГ



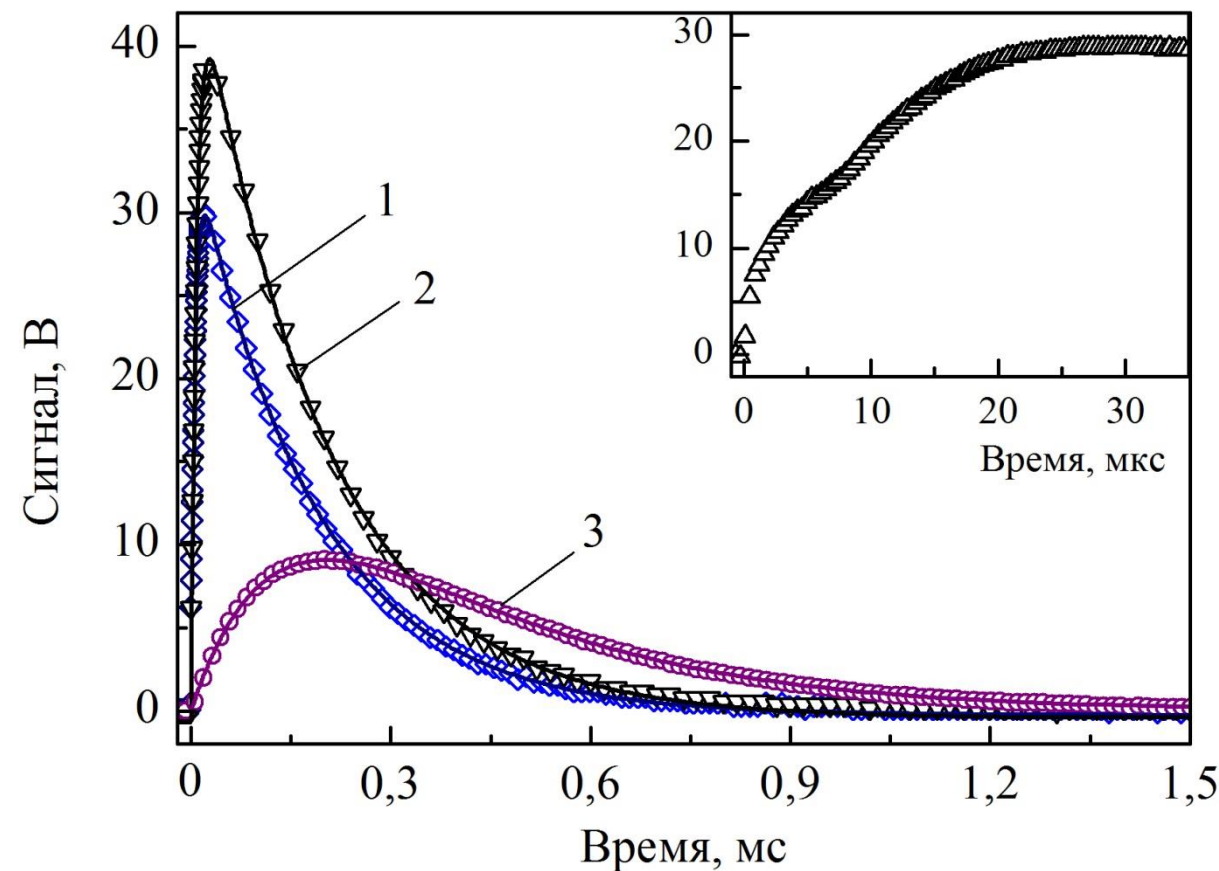
λ , нм	Переход	λ , нм	Переход
265,6 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^4I_{9/2}$	549,0 (II)	$^2F_{5/2}(1) \rightarrow ^2K_{13/2} + ^2G_{9/2}$
270,0 (I)		556,5 (II)	
280,0 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^4I_{11/2}$	560,5 (II)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^4G_{9/2}$
283,0 (I)		576,5 (I)	
295,5 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^4I_{13/2}$	586,5 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^4G_{11/2}$
300,6 (I)		596,0 (I)	
310,8 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^4I_{15/2}$	601,0 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^2K_{15/2}$
321,0 (I)		619,0 (I)	
396,0 (III)	$^2F_{5/2}(0) \rightarrow ^2H_{9/2}$	869,0 (IV)	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$
400,5 (III)		885,0 (IV)	
413,0 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^4F_{7/2} + ^4S_{3/2}$	891,0 (IV)	
429,5 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^4F_{9/2}$	900,0 (IV)	
435,0 (II)	$^2F_{5/2}(1) \rightarrow ^4F_{9/2}$	938,0 (IV)	$^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$
450,0 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^2H_{11/2}$	946,0 (IV)	
456,0 (I)		1052,0 (IV)	
461,0 (I)		1064,0 (IV)	
480,0 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^4G_{5/2}$	1074,0 (IV)	
487,5 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^2G_{7/2}$	1104,0 (IV)	
494,5 (I)		1111,0 (IV)	
525,0 (II)	$^2F_{5/2}(1) \rightarrow ^4G_{7/2}$	1115,0 (IV)	
540,5 (I)	$^2F_{5/2}(2) \rightarrow ^2K_{13/2} + ^2G_{9/2}$	1120,0 (IV)	

Люминесценция $\text{Nd:Y}_2\text{O}_3$



λ , нм	Переход
877,0	$^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{9/2}$
879,0	
894,0	
897,5	
914,0	
929,0	
946,3	
1051,3	$^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$
1055,5	
1073,8	
1078,8	
1094,0	
1103,8	

Кинетика полос Nd:ИАГ



Кинетическая кривая $I_{ik}(t)$ аппроксимируется функцией:

$$I_{ik}(t) = I_{0ik} \left[\exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right]$$

i и k – уровни, с которого и на который осуществляется оптический переход, соответственно; $I_{0ik}(t)$ – интенсивность в максимуме, t – текущее время, $\tau_1 < \tau_2$ – постоянные времени, характеризующие процессы разгорания (τ_1) и затухания (τ_2) люминесценции.

Характерная кинетика люминесценции спектральных полос в различных областях спектра: 1 – УФ ($\lambda = 321$ нм), 2 – ВД ($\lambda = 461$ нм), 3 – ИК ($\lambda = 1052$ нм). На вставке приведен характерный участок разгорания полосы видимого диапазона при $\lambda = 396$ нм.

Кинетическое уравнение

Кинетическое уравнение для заселенности C_i излучательного уровня i :

$$\frac{dC_i}{dt} = f(t) - \frac{C_i}{\tau_i} \quad (1)$$

Кинетическое уравнение для концентрации
неравновесных носителей заряда n_e :

$$\frac{dn_e}{dt} = -Bn_e^2 - An_e \quad (2)$$

Функция подкачки для самых
высоких излучательных уровней:

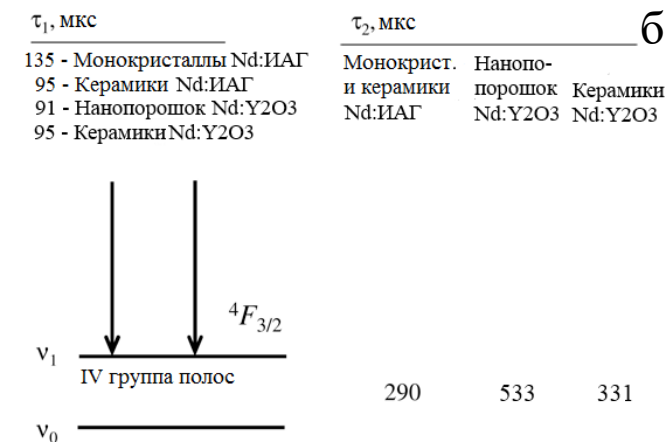
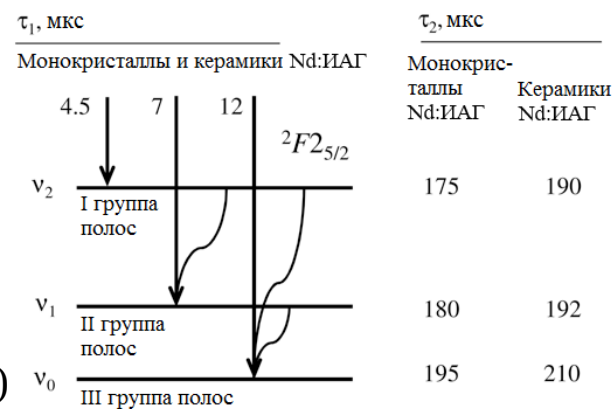
$$f(t) = \beta_i B n_e^2 + \alpha_i A n_e \quad (3)$$

Кинетическое уравнение для заселенности излучательного уровня C_i ,
когда доминирующим механизмом подкачки является линейная
рекомбинация электронно-дырочной плазмы:

$$\frac{dC_i}{dt} = \alpha_i \frac{n_{e0}}{\tau_r} \exp\left(-\frac{t}{\tau_r}\right) - \frac{C_i}{\tau_i} \quad (4)$$

Решение кинетического уравнения при начальном условии $C_i(t=0)=0$:

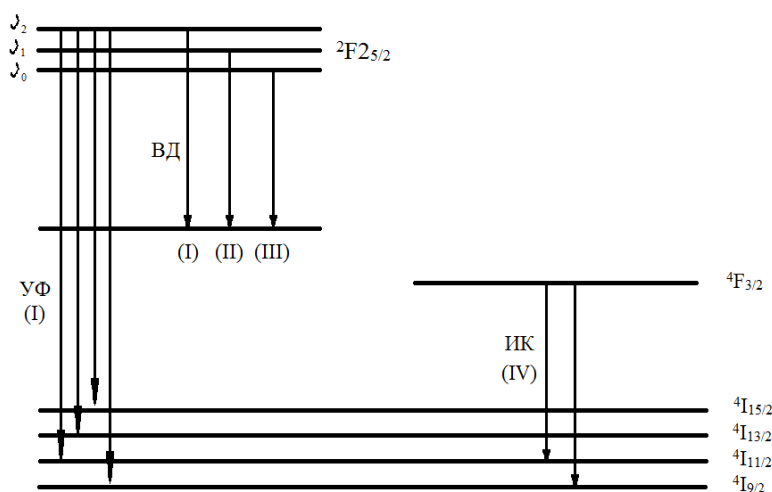
$$C_i(t) = \alpha_i \frac{n_{e0} \tau_i}{\tau_i - \tau_r} \left[\exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) - \exp\left(-\frac{t}{\tau_r}\right) \right] \quad (5)$$



Штарковские компоненты излучательных уровней $^2F_{5/2}$ (а) и $^4F_{3/2}$ (б) иона неодима.
 τ_1 , τ_2 – характерные времена соответственно разгорания люминесценции и жизни соответствующих излучательных подуровней.

Заключение

Энергетические состояния и оптические переходы ионов Nd^{3+}



Выводы:

1. Кинетика импульсной катодолюминесценции всех полос неодима описывается разностью двух экспоненциальных функций;
2. Характерное время затухания люминесценции является временем жизни излучательного уровня;
3. Время разгорания определяется механизмом подкачки излучательного уровня в процессе рекомбинации электронно-дырочной плазмы, создаваемой в веществе электронами возбуждающего пучка.

Таблица характерных времен разгорания (τ_1) и затухания (τ_2) импульсной катодолюминесценции ионов Nd^{3+} в монокристаллах и керамиках Nd:ИАГ и нанопорошке и керамиках $\text{Nd:Y}_2\text{O}_3$

Группа полос	τ_1 , мкс	τ_2 , мкс	τ_1 , мкс	τ_2 , мкс
	Монокристаллы Nd:ИАГ , $C(\text{Nd}) = 0,85$ ат.%		Керамики Nd:ИАГ , $C(\text{Nd}) = 1$ ат.%	
I	4,5	175	4,5	190
II	7	180	7	192
III	12	195	12	210
IV	135	290	95	290
	Нанопорошок $\text{Nd:Y}_2\text{O}_3$, $C(\text{Nd}) = 1$ ат.%		Керамики $\text{Nd:Y}_2\text{O}_3$, $C(\text{Nd}) = 1$ ат.%	
IV	91	533	95	331



Российская академия наук
Уральское отделение



Спасибо за внимание!