

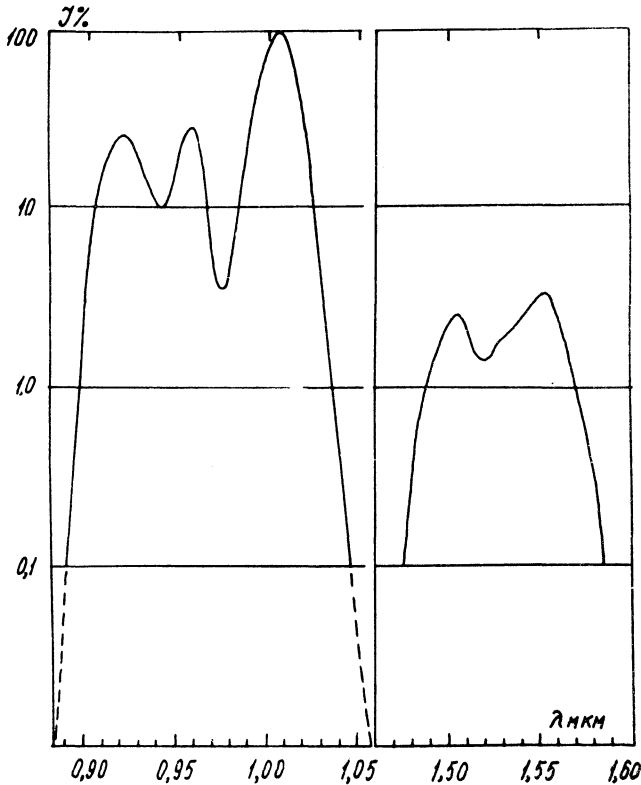
**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ИК ЛАЗЕРОВ
ПРИ ПОМОЩИ АНТИСТОКСОВЫХ ЛУМИНОФОРОВ**

Э. Я. Арапова, В. И. Малышев, А. В. Масалов,
Н. В. Митрофанова, Ю. П. Тимофеев, М. В. Фок,
С. А. Фришман, В. В. Шаенко

Широкое распространение оптических квантовых генераторов ближнего инфракрасного диапазона особо остро ставит задачу визуализации этого излучения. Непосредственное визуальное наблюдение ИК излучения дает возможность быстро контролировать настройку лазеров, определять пространственное распределение лазерного излучения, оценивать его мощность, настраивать всевозможные оптические системы. Задачу визуализации можно успешно решить, используя различные типы люминесцентных экранов, чувствительных к инфракрасному излучению. Применяемые в настоящее время для этих целей гашецинные и тушащиеся люминофоры /1/ требуют дополнительного источника ультрафиолетового излучения для возбуждения экранов, что заметно усложняет методику регистрации. Поэтому открытие кооперативной люминесценции /2/ и последующее создание эффективных антистоксовых люминофоров /3,4/, которые непосредственно преобразуют ИК излучение в видимое свечение, может значительно расширить применение люминофоров при работе с ИК ОКГ. В связи с этим цель настоящей работы состояла в выяснении возможностей применения экранов из антистоксовых люминофоров для непосредственной визуализации полей излучения неодимовых лазеров. Нами были разработаны антистоксовы поликристаллические люминофоры на основе пар редкоземельных ионов $\text{Yb}^{3+} - \text{Er}^{3+}$; $\text{Yb}^{3+} - \text{Ho}^{3+}$ и $\text{Yb}^{3+} - \text{Tm}^{3+}$ в оксихлоридах, фторидах оксисульфидов и оксифторидах иттрия и бария.

Были подобраны оптимальные концентрации активаторов, составы основания и температуры синтеза, которые позволили получить

эффективность преобразования стационарного ИК излучения ($0,9 \leq \lambda \leq 1,0$ мкм) в видимое до 1% при плотности стационарного возбуждения около 1 Вт/см². К сожалению, эффективное возбуждение



Р и с. I. Спектр возбуждения антистоксова люминофора
 $\text{YOSl:Yb}^{3+} - \text{Er}^{3+}$

антистоксовой люминесценции происходит в очень узком спектральном диапазоне.

Спектр возбуждения одного из этих люминофоров на основе оксихлоридов с Yb^{3+} и Er^{3+} приведен на рис. I. Он состоит из двух структурных полос возбуждения в областях 0,9 - 1 мкм и 1,4 + 1,6 мкм, соотношение интенсивностей и тонкая структура которых зависят в первую очередь от состава основания. Из рисунка видно, что

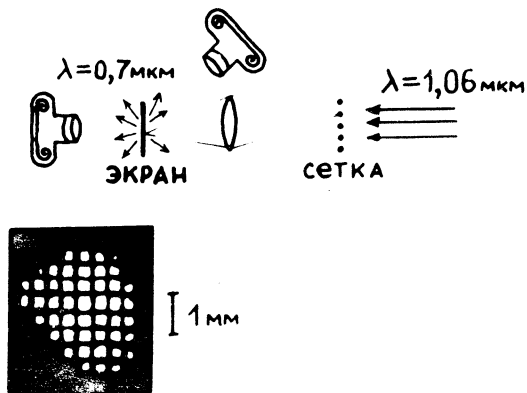
длинноволновая граница основной полосы возбуждения, обусловленной поглощением в Yb^{3+} , очень резкая. Однако, как показал опыт, она все же доходит до $\lambda = 1,06$ мкм, т.е. до линии генерации Nd^{3+} в лазерах /5/. Поэтому хотя эффективность преобразования для $\lambda = 1,06$ мкм могла быть на несколько порядков меньше оптимальной, можно было все же надеяться получить непосредственно видимое изображение полей излучения неодимовых лазеров.

С этой целью нами были изготовлены прозрачные экраны ($\phi \approx 5$ см) с плотностью нанесения люминофоров ≈ 100 мг/см². Для усиления воздействия в качестве подложки использовалось диэлектрическое зеркало с коэффициентом отражения $\approx 100\%$ на длине волны 1,06 мкм и прозрачное в видимой области, которое из-за квадратичной зависимости яркости кооперативного свечения от плотности возбуждения могло до 4-х раз увеличить яркость свечения тонкого слоя. Такая система позволяет наблюдать и фотографировать видимое на экране изображение не только в отраженном, но также и в проходящем свете, что практически более удобно; кроме того, наблюдаемое при этом изображение лишено искажений, имеющих место при наблюдении в отраженном свете. Отметим также, что использование в нашей системе 100% зеркала на $\lambda = 1,06$ мкм предохраняет глаза наблюдателя (при наблюдении на просвет) от прямого излучения лазера.

При помещении этих экранов в поле излучения лазера на $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$, работающего в режиме одиночных коротких импульсов ($\tau \approx 200$ мксек), четкое изображение поля генерации наблюдалось с обеих сторон экрана при плотности излучения 10 мдж/см².

С целью определения разрешающей способности в наших экспериментах на люминесцирующий экран проектировалось с различными увеличениями изображение сетки, освещаемой излучением лазера "на просвет". Пример полученной в этих условиях фотографии приведен на рис. 2. Порог регистрации составлял несколько мдж/см² при постоянной времени не более 1 мсек и разрешающей способности до 5 штрих/мм, что является вполне удовлетворительным в ряде случаев. Вместе с тем сравнение показало, что ртутные люминофоры $\text{CaS} \cdot \text{SrS} : \text{Ce}, \text{Sm}$ обладают в тех же условиях приблизительно на порядок более высокой чувствительностью, и их применение в настоящее время более предпочтительно для слабых мощностей генерации.

Однако максимальная яркость свечения вспышечных и тушащихся люминофоров ограничена световой суммой ($\approx 10^{15}$ квант/см²), запасенной в экране под УФ возбуждением, и при высоких плотностях ИК лучей наступает эффект насыщения. Для антистоксовых



Р и с. 2. Схема регистрации и вид поля ИК излучения на антистоксовом люминофоре.

люминофоров яркость свечения возрастает пропорционально квадрату интенсивности возбуждения. Поэтому для более интенсивных источников их применение явно предпочтительно.

Кроме того, в отличие от антистоксовых вспышечные и тушащиеся люминофры по-существу являются индикаторами однократного действия, так как они требуют нового возбуждения экрана после единичного акта регистрации.

Постоянная времени антистоксовых люминофоров определяется процессами переноса энергии, инерционность которых соизмерима с инерционностью запрещенных переходов в 4f-оболочке Tr^{3+} , т.е. имеет величину порядка $10^{-3} + 10^{-4}$ сек. Порог же к эффективности регистрации, по-видимому, можно заметно улучшить преимущественно путем очистки сырья (99,9%) от других примесей, приводящих к безызлучательным потерям энергии, особенно при возбуждении на спектральной границе активного поглощения. Разрешающая способность экранов определяется размером зерен люминофора, который может быть уменьшен почти на порядок.

В заключение следует отметить, что с помощью тех же люминофоров мы визуально наблюдали генерацию излучения на Er^{3+} в стеклах, т.е. на $\lambda = 1,54 \text{ мкм}^{\text{ж}}$.

Порог наблюдения для этого процесса трехквантового возбуждения составлял не более 10 мдж/см^2 .

Указанный список лазеров, очевидно, может быть расширен (например GaSb , Ag , He - Ne); дальнейшее развитие антистоксовых люминофоров позволит эффективно использовать их при работе с лазерами во всем ближнем ИК диапазоне.

ж) Авторы весьма признательны Жаботинскому М. Е. и Гапонцеву В. П. за представление возможности апробирования люминофоров на этом лазере.

Поступила в редакцию
6 июля 1972 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. Л. Левшин, Н. В. Митрофанова, Ю. П. Тимофеев, С. А. Фридман, В. В. Шаенко. Труды ФИАН, 59, 64 (1972).
2. В. В. Овсянкин, П. П. Феофилов. Письма в ЖЭТФ, 4, 471 (1949).
3. H. J. Guggenheim, L. E. Johnson. Appl. Phys. Letts., 15, 51 (1969).
4. Э. Я. Арапова и др. Опт. и спектр., 32, 435 (1972).