

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАНСНОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Б. И. Рубинштейн, К. И. Мунтян

Х а р ь к о в

Как сообщалось ранее [1], существует принципиальная возможность создания измерителей энергии излучения рубиновых ОКГ с модуляцией добротности путем использования резонансной люминесценции рубина. Настоящая работа посвящена экспериментальной проверке указанной возможности, определению основных источников погрешностей и оценке степени их влияния на точность получаемого результата.

Процесс измерения энергии излучения, согласно [1], заключается в следующем: импульс излучения ОКГ направляется на приемный элемент измерителя энергии, выполненный из рубина, частично отражается и частично поглощается приемным элементом. Измерив длительность импульса резонансной люминесценции приемного элемента, определяют энергию люминесценции, которая связана известной зависимостью с величиной энергии падающего на приемный элемент излучения ОКГ.

Отсюда следует, что точность измерения энергии излучения ОКГ определяется стабильностью следующих параметров и характеристик:

- 1) коэффициент поглощения рубина;
- 2) коэффициент отражения рубина;
- 3) квантовый выход люминесценции;
- 4) закон затухания люминесценции;
- 5) постоянная времени затухания люминесценции.

Основной дестабилизирующий фактор — изменение параметров окружающей среды. Кроме этого, указанные параметры и характеристики могут зависеть от параметров импульса излучения ОКГ. Следовательно, необходимо рассмотреть влияние таких факторов: температура, давление, электрическое и магнитное поле, энергия падающего излучения, объемная плотность энергии, пиковая мощность, мощность в импульсе, длительность импульса, форма импульса, характер поляризации, длина волны, объем возбуждения. Отметим, что изменение параметров рубинового приемника элемента, обусловленное его старением, здесь не рассматривается.

С инженерной точки зрения необходимо также определить влияние таких параметров, как концентрация хрома, длина, диаметр, объем и ориентация приемного элемента, объем камеры, коэффициент отражения стенок камеры.

Коэффициент поглощения, являясь функцией длины волны, вместе с тем зависит от содержания примесного хрома в кристалле [2]. С увеличением концентрации хрома увеличивается не только максимальное значение коэффициента поглощения, но и ширина линии поглощения, а также происходит сдвиг линии в коротковолновую часть спектра. Величина коэффициента поглощения сильно зависит и от содержания других (кроме хрома) примесей, наличия дефектов, создающих механические напряжения в кристалле, и от предыстории кристалла [3]. В частности, облучение кристалла рентгеновскими лучами увеличивает коэффициент поглощения. Далее, с повышением температуры коэффициент поглощения уменьшается, а сама линия поглощения сдвигается в длинноволновую часть спектра и уширяется. Увеличение давления смещает линию поглощения в длинноволновую часть спектра. Действие сильного электрического или магнитного поля приводит к расщеплению и сдвигу линии поглощения. Кроме этого, в процессе поглощения излучения коэффициент поглощения изменяется из-за перераспределения населенностей энергетических уровней хрома [4].

Учесть степень влияния всех этих факторов достаточно трудно, гораздо проще экспериментально оценить стабильность коэффициента поглощения. При этом достаточно определить только температурную зависимость коэффициента поглощения, так как влияние давления электрического и магнитного полей пренебрежимо мало [5, 6], а степень влияния параметров излучения ОКГ можно определить из описанных ниже экспериментов.

Коэффициент отражения зависит от концентрации хрома и параметров излучения, потому что резонансное отражение [7] однозначно связано с контуром линии поглощения и показателем преломления, которые изменяются в процессе поглощения излучения.

Изменение квантового выхода люминесценции может происходить в результате концентрационного, температурного и нелинейного тушений. Концентрационное тушение в данном случае нас не интересует, так как в процессе измерения концентрация хрома в рубине не изменяется. Нелинейное тушение заметно только при высоких концентрациях хрома, а при концентрациях, характерных для лазерных рубинов, оно не обнаружено [8]. Сведений о температурном тушении резонансной люминесценции рубина в литературе нет.

Закон затухания люминесценции рубина в общем случае, когда ионы хрома взаимодействуют между собой, не является экспоненциальным. Но так как в рубинах, применяемых в тех-

нике ОКГ, концентрация хрома мала, то взаимодействие ионов хрома друг с другом пренебрежимо мало и закон затухания является экспоненциальным с высокой степенью точности. При этом величина постоянной времени затухания зависит от концентрации хрома, температуры и размеров кристалла [9].

Отметим, что в подавляющем большинстве случаев данные, приведенные в литературе, получены при возбуждении рубина в широких синей и зеленой полосах поглощения. Данных о резонансном возбуждении в литературе очень мало, чем и вызвана потребность в настоящей работе.

Эксперименты проводились с двумя макетами измерителей — проходного и поглощающего типов. В качестве приемных элементов использовались четыре цилиндрических образца рубина $\varnothing 12$ мм и длиной 15, 20 и 40 мм. Угол между геометрической и оптической осями 80° . Три образца разной длины имели концентрацию хрома $\sim 0,05\%$, а четвертый (длиной 15 мм) — $0,03\%$. Импульс люминесценции с помощью фотодиода ФД-7к и триггера Шмитта преобразовывался в прямоугольный импульс, длительность которого измерялась частотомером Ф552А. Специальных мер для стабилизации параметров фотодиода и триггера Шмитта не принималось. В качестве источника излучения использовались промышленный ОКГ типа «Арзни-207», более мощный лабораторный ОКГ, созданный на базе «Арзни-207», и лабораторный ОКГ с пассивной модульцией добротности. Для измерения энергии излучения использовался калориметрический измеритель энергии типа ИЭК-1.

В ходе экспериментов получены следующие результаты.

1. Зависимость длительности t люминесценции от величины энергии W излучения ОКГ.

Экспериментальные точки хорошо ложатся на прямую линию в полулогарифмическом масштабе (координатные оси t и $\lg W$). Разброс точек относительно прямой подчиняется нормальному закону распределения со среднеквадратичной ошибкой $\Delta t = 220$ мксек, что соответствует ошибке измерения энергии $\frac{\Delta W}{W} = \pm 5\%$. Диапазон изменения энергии излучения 0 — 1 дж, диапазон изменения длительности импульса люминесценции 0 — 60 мсек. Порог чувствительности измерителя $2 \cdot 10^{-6}$ дж (определен продолжением графика до пересечения с осью энергий). Нормальный закон распределения отклонений экспериментальных точек от прямой свидетельствует о том, что закон затухания является экспоненциальным и что квантовый выход люминесценции в этом диапазоне энергий постоянен с точностью $\pm 5\%$.

2. То же при разных ориентациях рубина.

Экспериментальные графики образуют семейство параллельных линий, причем прямая, соответствующая одинаковой ориен-

тации рубина — генератора и рубина приемника, лежит выше всех.

Этот результат легко объясним. Как известно [10], коэффициент поглощения рубина максимален, когда электрический вектор поля излучения ОКГ перпендикулярен проекции оси C . Для устранения этой зависимости необходимо вырезать приемный элемент из рубина с нулевой ориентацией.

2. То же при разных камерах.

Экспериментальные линии образуют семейство параллельных линий. Чем выше коэффициент отражения стенок камеры, тем большая часть потока люминесценции попадает на фотоприемник, тем выше лежит прямая. Постоянные времени одинаковы с точностью $\pm 5\%$.

4. То же при разных длинах рубина.

Экспериментальные графики образуют веер расходящихся линий, которые пересекаются в разных точках. С изменением длины образца от 15 до 40 мм постоянная времени τ возрастает от 4,9 до 5,3 мсек. Графики для более длинных образцов лежат выше графиков для более коротких, но превышение не более 10%.

5. То же с одновременным применением измерителей проходного и поглощающего типов.

Экспериментальные точки хорошо ложатся на прямую (координатные оси t_1 и t_2) в диапазоне от 500 мсек до 60 мсек (дальше исследование не проводилось). Разброс экспериментальных точек относительно прямой подчиняется нормальному закону распределения со среднеквадратичной ошибкой $\Delta t = 120$ мсек, что соответствует ошибке измерения энергии $\frac{\Delta W}{W} = \pm 2,7\%$. Прямолинейность графика и нормальный закон распределения отклонений экспериментальных точек подтверждают экспоненциальность закона затухания и постоянство квантового выхода с точностью не хуже $\pm 2,7\%$.

6. Зависимость коэффициента поглощения рубина от температуры.

С увеличением температуры коэффициент поглощения рубина уменьшается. По-видимому, основная причина уменьшения — сдвиг линии поглощения, так как экспериментальный график хорошо аппроксимируется кривой Гаусса с характерной для лазерных рубинов полушириной 5 Å (температурный коэффициент 0,07 Å/градус).

7. Зависимость постоянной времени затухания люминесценции от температуры.

Зависимость постоянной времени затухания люминесценции от температуры в диапазоне 20 — 55° С не обнаружена (точность измерений $\pm 5\%$).

8. Зависимость постоянной времени затухания люминесценции от интенсивности излучения.

Зависимость постоянной времени затухания от интенсивности излучения в диапазоне $10^6 - 2 \cdot 10^9$ *вт/см²* не обнаружена.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты доказывают возможность использования резонансной люминесценции рубина для измерения энергии излучения рубиновых ОКГ с модулированной добротностью в диапазоне энергий $10^6 - 1$ *дж*.

Основной источник погрешности — температурная зависимость коэффициента поглощения рубина. Уменьшить эту погрешность можно либо термостатированием приемного элемента, либо применяя рубины с уширенной линией поглощения (методы выращивания таких рубинов известны [11]).

Полученные результаты позволяют утверждать, что использование резонансной люминесценции рубина дает возможность измерять энергию излучения рубиновых ОКГ с модуляцией добротности с точностью не хуже $\pm 5\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Мунтян, Б. И. Рубинштейн. Способ измерения энергии излучения ОКГ с модулированной добротностью. Материалы межведомственной научно-технической конференции. «Состояние и пути совершенствования методов и приборов для измерения мощности на СВЧ», 4—6 октября 1971 г., Харьков.
2. S. Sugano, I. Tsujikawa. *J. Phys. Soc. Japan*, 13, 889, 1958.
3. В. Н. Вишневский, Н. С. Пидзырайло и Ю. Н. Соловьев. *А. «Оптика и спектроскопия», 18, 517, 1965.*
4. А. М. Бонч-Бруевич, Т. К. Разумова и Я. А. Имас. «Оптика и спектроскопия», 20, 1040, 1966.
5. А. А. Каплянский, А. К. Пржеvusкий. «Доклады АН СССР», 142, № 2, 1962.
6. *J. Phys. Soc. Japan*, 18, 1448, 1963.
7. Р. Ритчль, П. Глас и И. Швидер. «Оптика и спектроскопия», 18, 733, 1965.
8. Н. А. Толстой, А. П. Абрамов. «Оптика и спектроскопия», 20, 345, 1966.
9. В. А. Геворкян, К. А. Мадатян, Э. А. Кочинян, В. Х. Саркисов. «Журнал прикладной спектроскопии», 8, 742, 1968.
10. I. Edwards. *J. of. Sc. Instr.*, 44, N 4, 1967, p. 309.
11. *J. Appl. Phys.*, 37, N 2, 1966, p. 832.