

# СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ОКГ С МОДУЛИРОВАННОЙ ДОБРОТНОСТЬЮ

*Б. И. Рубинштейн, К. И. Мунтян*

Х а р ь к о в

В настоящее время известно достаточное количество кристаллических и аморфных материалов, нашедших применение в ОКГ в качестве активных сред. Среди них наиболее изученным является рубин, на котором впервые была получена генерация. Несмотря на это, ОКГ на рубине продолжают совер-

шенствоваться и все шире применяться в различных областях науки и техники. В частности, ОКГ на рубине с модулированной добротностью, благодаря малой длительности, большой мощности импульса и расположению линии генерации в окне прозрачности атмосферы может с успехом применяться в оптической дальнометрии и локации, а также в системах передачи информации [1]. Точность и надежность таких систем определяется в первую очередь стабильностью спектральных и энергетических параметров ОКГ.

В связи с этим представляет интерес разработка оперативных методов контроля и измерения, позволяющих индицировать интересующий параметр для каждого импульса или служить элементом системы автоподстройки. В частности, хорошо зарекомендовавшие себя для измерения энергии ОКГ калориметрические, пондеромоторные и другие методы в силу ряда известных причин пока не нашли применения для этих целей. По отношению к измеряемому потоку такие измерители должны быть проходными, поглощать малую долю энергии излучения, обладать достаточной оптической прочностью и не искажать пространственное распределение энергии в импульсе.

С этой целью исследовался способ измерения энергии, основанный на эффекте преобразования энергии излучения в энергию резонансной люминесценции. Экспоненциальный характер, большая длительность и малая мощность люминесценции позволяют применять хорошо известные фотоэлектрические методы для ее регистрации. В качестве преобразователя энергии использовался обычный рубин, предназначенный для работы в ОКГ.

Пусть для данной длины волны излучения ОКГ кристалл преобразователя энергии поглощает  $k$  часть энергии излучения  $W_{\text{н}}$ . Тогда, считая квантовый выход равным единице, энергию люминесценции можно выразить так:

$$W_{\text{л}} = kW_{\text{н}}. \quad (1)$$

Кинетика люминесценции рубина в интервале  $R$ -линий характеризуется экспонентой с малой скоростью затухания процесса излучения. Постоянная времени  $\tau$  люминесценции рубина является характеристикой материала и определяется средним временем жизни иона хрома в возбужденном состоянии и размером кристалла. Для комнатных температур и различных размеров кристаллов величина  $\tau$  лежит в пределах 3—6 мсек [2].

Считая процесс возбуждения относительно длительности процесса высвечивания мгновенным (что справедливо для возбуждения кристалла импульсом ОКГ с модулированной доб-

ротностью), энергию люминесценции можно выразить как площадь под кривой:

$$W_{л} = P_{\max} \int_0^{\infty} e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} dt = \tau P_{\max}, \quad (2)$$

где  $P_{\max}$  — значение мощности люминесценции в момент после возбуждения  $t=t_0$ ;  $t-t_0$  — время наблюдения люминесценции.

Если весь световой поток люминесценции попадает на фотоприемник, значение фототока в любой момент времени определится выражением

$$I_{\phi} = \alpha P_{\max} e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  — чувствительность фотоприемника.

Учитывая (1), (2) и (3), получим

$$W_{и} = \frac{\tau}{k} I_{\phi\max}, \quad (4)$$

где  $I_{\phi\max} = \alpha P_{\max}$  — максимальное значение фототока.

Таким образом, если известно  $\tau$ ,  $k$  и  $I_{\phi\max}$ , можно определить прошедшую через образец энергию.

В случае, если  $\tau$  неизвестно или измерение максимального значения фототока затруднительно, определить энергию импульса можно и другим способом. Пусть нагрузкой фотоприемника будет емкость  $C$ , тогда количество электричества, прошедшее через фотоприемник за время релаксации люминесценции, выразится так:

$$Q = \tau I_{\max},$$

а напряжение на емкости за счет ее заряда

$$U_c = \frac{Q}{C} = \frac{\tau I_{\phi\max}}{C}.$$

Подставляя  $I_{\phi\max}$  в (4), получим

$$W_{и} = \frac{C}{\alpha k} U_c.$$

Последние два метода достаточно широко используются в оптических измерениях.

Для таких измерителей основным требованием, предъявляемым к фотоприемнику, является линейность преобразования излучения в фототок в широком диапазоне энергий.

Рассмотрим один из способов регистрации энергии люминесценции с помощью фотоприемника, не обладающего линей-

ной характеристикой преобразования. Пусть сигнал с фотоприемника подается на пороговое устройство (например, триггер Шмитта), которое обрабатывает интервал на фиксированном уровне мощности излучения  $P_0$ , так, что в момент времени  $t_0$  оно открывается, а в момент времени  $t_1$  закрывается, формируя на выходе прямоугольный импульс длительностью  $t_1 - t_0$ . Тогда

$$W_n = P_{\max} \tau = \tau P_0 e^{\frac{t_1 - t_0}{\tau}}.$$

Учитывая, что  $\tau P_0 = W_0$  есть минимальное значение энергии, при котором отпирается пороговое устройство, получим

$$W_n = W_0 e^{\frac{t_1 - t_0}{\tau}},$$

$$W_n = \frac{W_0}{k} e^{\frac{t_1 - t_0}{\tau}}.$$

Таким образом,

$$W_n = W_n e^{\frac{t_1 - t_0}{\tau}}. \quad (5)$$

Как следует из выражения (5),  $W_n$  имеет смысл порогового значения энергии излучения, для которой продолжительность люминесценции  $t_1 - t_0 = 0$ ; для всех остальных значений  $W_n > W_n$ ;  $t_1 - t_0 > 0$ .

С целью экспериментальных исследований возможности измерений энергии данным способом был изготовлен макет измерительной головки проходного и поглощающего типа (рисунок). В макетах использованы образцы, вырезанные из одного рубинового стержня  $\varnothing 12$  мм. Образец кристалла в проходном измерителе имел толщину 2 мм, в поглощающем — 20 мм. В обеих конструкциях использовался фотоприемник типа ФД-7к.

В процессе экспериментов измерялась энергия ОКГ с модулированной добротностью с импульсом длительностью 30 мсек и продолжительностью люминесценции. Контроль энергии возбуждения осуществлялся калориметрическим измерителем типа ИЭК-1. Длительность люминесценции измерялась частотомером типа Ф552А.

По результатам экспериментов строились графики зависимости  $e_n W_n = f(t_1 - t_0)$ , представляющие собой прямую с наклоном  $1/\tau$ . С помощью экстраполяции графика в область малых энергий, недоступных для измерения калориметром, определялась пороговая чувствительность  $W_n$ . Для описанных выше головок  $W_n$  проходного и поглощающего вариантов ока-

здесь равной  $\sim 10^{-3}$  и  $\sim 10^{-6}$  соответственно. Экспериментальные точки хорошо ложились на прямую  $e_n W_n = f(t_1 - t_0)$  в пределах погрешности эксперимента.

Проанализируем погрешности измерения энергии данным способом. Рассмотрим выражение (5)

$$\frac{dW_n}{W_n} = \frac{dW_n}{W_n} + \frac{d(t_1 - t_0)}{\tau} + \frac{(t_1 - t_0)}{\tau^2} d\tau.$$

Здесь  $dW_n$  — стабильность порога;  $d(t_1 - t_0)$  — погрешность

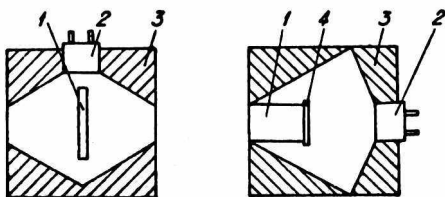


Схема измерительных головок:  
 а) проходного типа; б) поглощающего типа;  
 1 — люминесцирующий образец; 2 — фотоприемник, 3 — корпус, 4 — заглушка.

измерения длительности люминесценции;  $d\tau$  — погрешность определения  $\tau$ .

Выбранный измеритель (Ф552А) позволяет измерить интервал  $t_1 - t_0$  с достаточной точностью, поэтому членом  $\frac{d(t_1 - t_0)}{\tau}$  можно пренебречь. Путем выбора  $W_n \gg dW_n$  сводим к минимуму  $\frac{dW_n}{W_n}$  и  $\frac{t_1 - t_0}{\tau^2}$ . Последнее легко объяснить переходом на более пологий участок экспоненты. Однако выбор  $W_n$  не произволен, при данной чувствительности фотоприемника он ограничен динамическим диапазоном прибора.

## ВЫВОДЫ

1. Применение оптического преобразователя импульса излучения малой длительности в импульс люминесценции с последующим измерением ее продолжительности позволяет осуществлять оперативный контроль и измерение энергии излучения ОКГ с модулированной добротностью.

2. Простота механизма возбуждения и высокая эффективность люминесценции обуславливают упрощение и повышение надежности ее регистрации.

3. Малые габариты, большая чувствительность и помехозащищенность дадут, по-видимому, возможность создать автономные системы контроля и автоподстройки энергии излучения ОКГ с модулированной добротностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л. З. Криксунов. Системы информации с оптическими квантовыми генераторами. Изд-во «Техника», Киев, 1970.
2. Н. А. Толстой и А. М. Ткачук. «Оптика и спектроскопия», т. VI, вып. 5, 1959.