

УДК 53.083.2

Радиочастотно-оптическая спектроскопия активных элементов лазерных материалов

Г.А. Алоян^{1,2}, А.С. Алексахина⁴, О.А. Рябушкин^{1,2,3}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²НТО «ИРЭ-Полус»

³Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

⁴Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»

В современных лазерных технологиях используется большое разнообразие материалов, таких как полупроводниковые кристаллы для генерации излучения, нелинейно-оптические кристаллы для преобразования энергии фотонов, стеклянные световоды для генерации, усиления и передачи сигнала и т.д.

В процессе работы лазера его активные элементы испытывают неоднородный разогрев. Однако измерение термодинамической температуры отдельных элементов часто не являются однозначными, т.к. в них могут существовать подсистемы с различными температурами. Так, например, для описания полупроводниковых кристаллов используют понятия температуры электронов и кристаллической решетки. Пропускание через полупроводниковую структуру электрического тока, неравномерно распределенного в пространстве, вызывает неоднородный разогрев. В таких условиях средние температуры объема и поверхности полупроводника могут существенно отличаться. Сильный разогрев и большой градиент температуры активной лазерной структуры может привести к её необратимой деградации и полному выходу из строя, чтобы это предотвратить необходимо контролировать температуру активных элементов непосредственно в режиме работы.

Создание методик и разработка универсального экспериментального стенда для исследования температурных эффектов активных элементов лазерных материалов является актуальной задачей. Для исследования свойств полупроводников используют метод модуляционной спектроскопии [1].

Для точного описания разогрева нелинейно-оптических кристаллов, обладающих свойством пьезоэлектриков, в работе [2] было введено понятие «эквивалентной температуры» θ_{eq} в условиях неоднородного разогрева кристалла проходящим через него лазерным излучением. Измерение функциональной зависимости резонансной частоты пьезоэлектрической моды от температуры при однородном разогреве кристалла позволило ввести новые параметры: резонансные термические коэффициенты K^n . В то же время в условиях линейного взаимодействия с лазерным излучением были введены резонансные оптические коэффициенты K^{ro} .

На основе этих коэффициентов определяется термооптический коэффициент

$$\beta = K^{ro} / K^n, \quad (1)$$

позволяющий экспериментально измерять коэффициент теплообмена h^T и коэффициент оптического поглощения излучения $\alpha(\lambda)$ в широком спектральном диапазоне длин волн λ от радиочастот до рентгена.

Стоит подчеркнуть, что введенная ранее эквивалентная объемная температура θ_{eq}^V недостаточна для задания граничных условий физических моделей разогрева лазерных элементов, так что необходимы измерения поверхностной температуры θ_{eq}^S и её распределения. Для этих целей предлагается использовать отдельный пьезоэлектрический нелинейно-оптический кристалл малых размеров (микрорезонатор) с ярко выраженным пьезоэффектом. Кроме того, микрорезонаторы должны обладать большой теплопроводностью, оптической прозрачностью на используемых длинах волн и малой толщиной (десятки микрон).

В области резонансной частоты отклик микрорезонатора имеет ярко выраженные особенности в диапазоне 5-10 МГц. В то же время, для объемных образцов нелинейно-оптических кристаллов сантиметровых размеров, резонансные частоты лежат в диапазоне 0.1-2 МГц.

Для проведения исследований был создан автоматизированный стенд, позволяющий проводить исследования методами импедансной и радиочастотно-оптической модуляционной спектроскопии.

Блок-схема экспериментального стенда приведена на рис. 1

Если микрорезонатор расположить на поверхности исследуемого нелинейно-оптического кристалла, то его температура практически совпадёт с температурой данного участка поверхности. В данном случае локальную поверхностную температуру исследуемого объекта называют «локальная эквивалентная температура поверхности» $\theta_{eq}^S(x, y, z)$.

Располагая несколько микрорезонаторов на исследуемой поверхности на определенном удалении друг от друга, можно измерить градиент поверхностной температуры.

Таким методом может измеряться локальная поверхностная температура и её градиент у любых материалов, даже не обладающих пьезоэлектрическими свойствами.

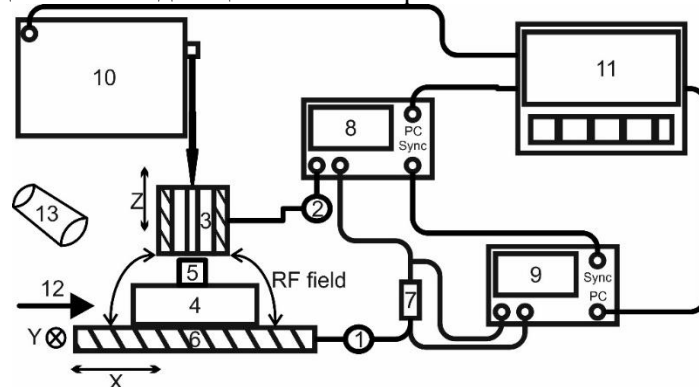


Рис. 1 Блок-схема экспериментального стенда, где 1,2 – электрические разъемы; 3 – радиочастотно-оптическая антенна, 4 – исследуемый образец, 5 – микрорезонатор, 6 – металлический электрод, 7 – измерительное сопротивление, 8 – радиочастотный генератор, 9 – синхронный детектор, 10 – монохроматор, 11 – персональный компьютер, 12 – источник лазерного излучения, 13 – микроскоп.

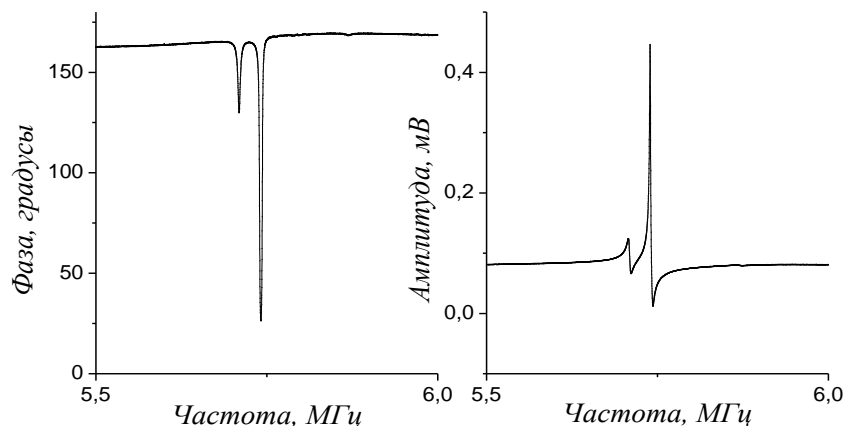


Рис. 2 Характерный радиочастотный спектр (фазо-частотная и амплитудно-частотная характеристики) терморезонатора

Литература

1. Ryabushkin O. A., Sablikov V. A. Radio-frequency modulation of the reflection of light in semiconductor heterostructures //Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters. – 1998. – V. 67. – №. 3. – P. 233-238.
2. Ryabushkin O. A., Myasnikov D. V., Baranov A. I. Crystal equivalent temperature model in process of nonlinear conversion of laser radiation //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2014. – V. 510. – №. 1. – P. 012031.