

Неоднородный разогрев полупроводниковой гетероструктуры в условиях генерации лазерного излучения

Э.М. Хабушев, А.В. Коняшкин, О.А. Рябушкин

Московский физико-технический институт (государственный университет)

НТО «ИРЭ – Полнос»

Полупроводниковые лазеры в настоящее время повсеместно применяются в науке и технике. Так, на полупроводниковых структурах уже получают мощное излучение в области видимого спектра; DFB (distributed feedback) лазеры на длине волны 1,5 мкм применяются в телекоммуникациях, ввиду хорошего качества пучка и узкой спектральной ширины линии; инжекционные лазеры ближнего инфракрасного диапазона используются для накачки мощных волоконных и твердотельных лазеров.

При увеличении мощности излучения полупроводникового лазера основной проблемой является сильный неоднородный разогрев активной области, приводящий к нестабильной работе и ухудшению выходных характеристик излучения. Важно контролировать температуру полупроводниковой структуры непосредственно в условиях лазерной генерации, и в особенности температуру грани, через которую выходит излучение. На сегодняшний день существует несколько подходов для решения данной задачи.

В работе [1] было предложено измерять температуру грани полупроводникового лазера по части спектра излучения, обусловленной усиленным спонтанным излучением, генерируемым в барьерном слое гетероструктуры. Авторы исходили из того факта, что для данной части спектра, спектральная интенсивность J оптической энергии E , излучаемая полупроводником подчиняется уравнению $J \propto E^2 \exp(-E/kT)$. Из аппроксимации соответствующей части спектра излучения, можно определить температуру исследуемой структуры. Также для измерения распределения температуры в полупроводнике используется метод термоотражения. Авторами работы [2] был измерен профиль температуры поверхности лазера по относительному изменению коэффициента отражения от нее, причем утверждается, что распределение температуры получено с разрешением 1 мК и точностью 0,1 К.

В данной работе предлагается новый прецизионный метод контроля температуры полупроводникового лазера, основанный на радиочастотной (РЧ) спектроскопии пьезоэлектрических терморезонаторов миллиметровых и субмиллиметровых размеров, помещаемых на поверхности полупроводникового кристалла (рисунок 1А). Блок-схема установки для реализации данного метода, изображена на рисунке 1Б. В работе исследовался полупроводниковый лазер на двойной гетероструктуре с квантовой ямой, излучающий на длине волны 975 нм, с мощностью до 9 Вт. В качестве терморезонатора использовался кристалл ниобата лития с сечением 130x500 мкм² и длиной 1.3 мм. Измерение его температуры осуществляется методом пьезорезонансной спектроскопии [3]. Для этого к нему вертикально подводятся металлические электроды, формирующие РЧ-антенну. Подключив антенну к РЧ-генератору, можно возбудить в кристалле механические колебания. При совпадении частоты приложенного электрического поля с частотой одной из собственных акустических мод кристалла возникает пьезоэлектрический резонанс, сопровождающийся резким изменением амплитуды и фазы тока. Сигнал отклика на воздействующее РЧ-поле регистрируется синхронным детектором с нагрузочного сопротивления.

Сначала терморезонатор калибруется в условиях однородного разогрева, и определяется пьезотермический коэффициент [3] выбранного резонанса. В условиях уже неоднородного разогрева по сдвигу резонансной частоты (рисунок 2А) мы можем определять эквивалентную температуру T_{eq} терморезонатора. Считая, что теплопроводность в системе полупроводник – кристалл довольно велика, можно принять, что эквивалентная температура кристалла по значению близка к локальной температуре поверхности полупроводниковой структуры. Важно, что ниобат лития прозрачен для длины волны 975 мкм, и поэтому разогрев кристалла за счет поглощения рассеянного лазерного излучения, пренебрежимо мал. Поэтому температуру поверхности полупроводника в месте расположения резонатора можно характеризовать эквивалентной температурой терморезонатора. В используемом кристалле коэффициент сдвига резонансной частоты выбранного резонанса от температуры составил -264,4 Гц/К. Были проведены измерения эквивалентной температуры в

зависимости от тока накачки лазера и при разной внешней температуре (рисунок 2Б). Получено, что чем выше начальная температура лазера, тем сильнее он разогревается в ходе работы. Это объясняется ростом вероятности безызлучательной рекомбинации носителей в полупроводнике с увеличением температуры, что приводит к дополнительному разогреву.

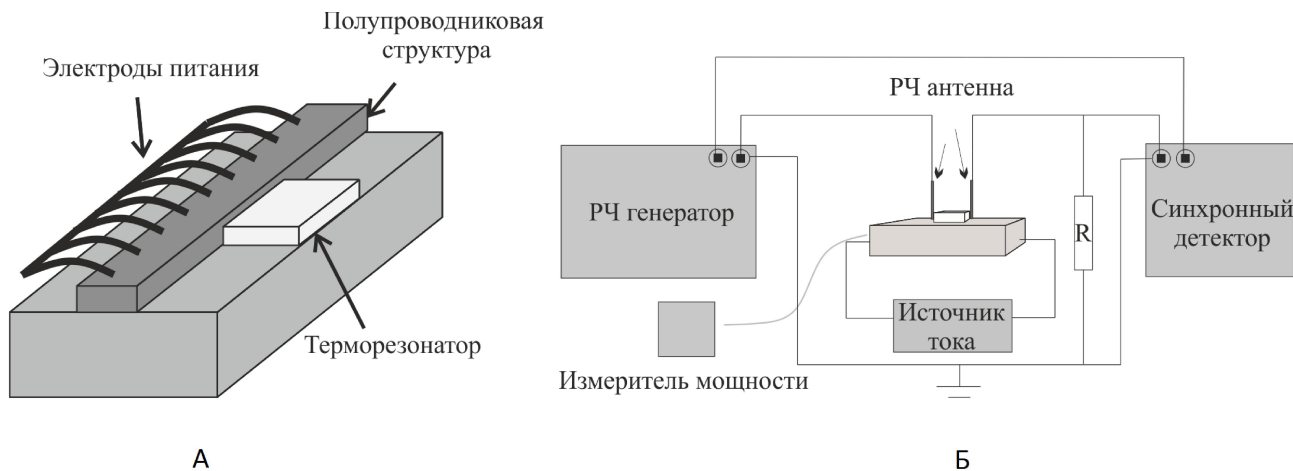


Рисунок 1. (А) – способ размещения терморезонатора на поверхности лазера; (Б) – блок-схема установки.

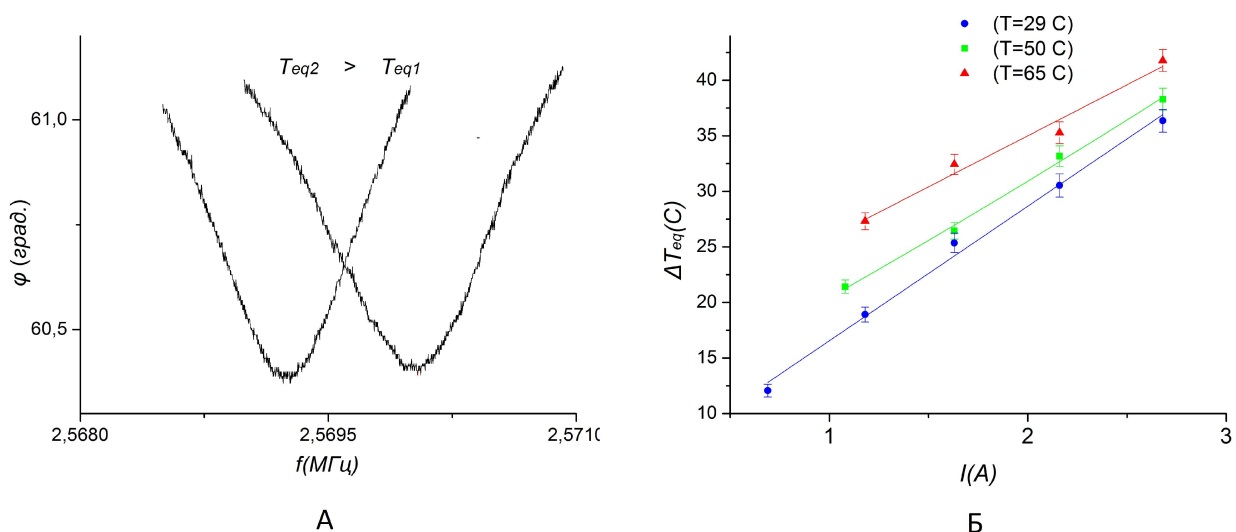


Рисунок 2. (А) – сдвиг резонанса терморезонатора при нагреве; (Б) – зависимость изменения эквивалентной температуры от тока накачки.

Литература

1. Sweeney S. J. [et al.] Direct measurement of facet temperature up to melting point and COD in high-power 980-nm semiconductor diode lasers //IEEE Journal of selected topics in quantum electronics. 2003. V. 9. №. 5. PP. 1325-1332.
2. Bugajski M. [et al.] Thermoreflectance study of facet heating in semiconductor lasers //Materials Science in Semiconductor Processing. 2006. V. 9. №. 1. PP. 188-197.
3. Коняшкин А. В. [и др.] Радиочастотно-импедансный спектроскоп для исследования взаимодействия мощного лазерного излучения с кристаллами //Приборы и Техника Эксперимента (ПТЭ). 2009. №. 6. С. 60-68.