

Таким образом, с помощью ИППП-1 можно определить темновое и световое сопротивление ФД в заданных точках, сопротивление ФД при нулевом смещении, темновой ток и фототок в заданных точках.

На рисунках 5 и 6 показаны зависимости тока короткого замыкания и напряжения холостого хода ФД от тока через СИД в логарифмических координатах.

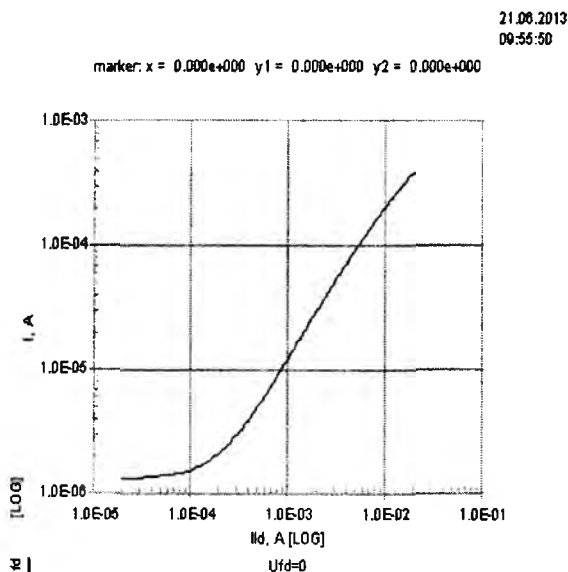


Рисунок 5 – Зависимость тока короткого замыкания фотодиода от тока светодиода.

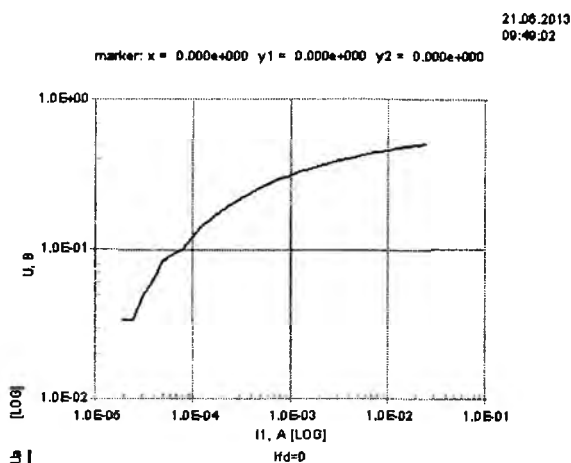


Рисунок 6 – Зависимость напряжения холостого хода на фотодиоде от тока светодиода

Если, при измерении этих характеристик использовать предварительно откалиброванный светодиод, то, зная соответствие между заданным током и уровнем освещенности, можно построить зависимости тока короткого замыкания и напряжения холостого хода ФД от интенсивности освещения.

Методика используется при проведении лабораторных работ по курсу “Оптоэлектроника” в высшем государственном колледже связи.

1. Фираго, В.А. Приемники излучения / В.А. Фираго – Мн.: БГУ, 2005. – 118 с.

УДК 535.327

## ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лойко П.А., Скипор В.Г., Маляревич А.М., Юмашев К.В.  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

Температурно-обусловленное изменение длины оптического пути в генерирующих материалах негативно влияет на выходные характеристики твердотельных лазеров [1]. Данное изменение вызывается температурной зависимостью показателя преломления и эффектом термического расширения и описывается т.н. термическим коэффициентом оптического пути  $W = dn/dT + (n-1)\alpha$  [2].

Коэффициенты теплового расширения  $\alpha$  могут быть относительно просто определены при помощи дилатометрического метода. Величины показателя преломления  $n$  и его температурного коэффициента  $dn/dT$  определяются методом минимальных отклонений.

Данный метод неприменим для исследования анизотропных лазерных кристаллов. Недавно для решения этой задачи был предложен относительно простой метод, основанный на от-

клонении зондирующего лазерного пучка в образце, в котором сформирован линейный градиент температуры [3].

Целью данной работы является разработка принципиальной схемы, обоснование конструктивных особенностей и изготовление опытного образца измерителя температурного коэффициента показателя преломления, реализующего данный метод. Работа проводилась в рамках задания 5 подпрограммы «Научно-учебное оборудование» ГНТП «Эталон и научные приборы».

В результате выполнения работы разработан комплект рабочей КД на изготовление измерителя и изготовлен его опытный образец.

В состав опытного образца измерителя входят: блок лазерного зондирования; блок формирования зондирующего лазерного излучения; кюветное отделение; блок регистрации зондирующего лазерного излучения (рисунок 1).

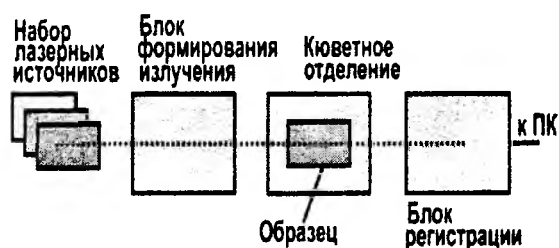


Рисунок 1 – Блок-схема измерителя температурного коэффициента показателя преломления лазерных материалов

Блок лазерного зондирования состоит из четырех источников лазерного излучения 1-4 с длинами волн 405, 532, 652 и 1064 нм (выходное излучение – непрерывное, выходная мощность – не более 20 мВт, расходимость излучения – 1 мрад), блока питания лазеров 5 (номинальное напряжение 3 В, ток 0.5 А, стабильность по току  $\pm 10\%$ ) и набора отрезающих светофильтров 6. Источники лазерного излучения размещены в монтажных блоках, обеспечивающих их пассивное охлаждение. Монтажные блоки закреплены в узле, обеспечивающем юстировку в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Блок формирования зондирующего лазерного излучения состоит из поляризационной призмы Глана-Тэйлора 7, двух сферических фокусирующих линз 8-9 (фокусные расстояния 20 и 100 мм) и круглой диафрагмы 10 (диаметр отверстия – 1 мм). Фокусирующие линзы закреплены в узлах, обеспечивающих перемещение и юстировку в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Кюветное отделение состоит из узла фиксации исследуемого образца 11, блоков стабилизации температуры 14, один из которых поддерживает постоянную температуру на одной из поверхностей образца ( $0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ), а второй – обеспечивает постоянную более высокую температуру ( $50 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ) на противоположной его поверхности, а также индикатора температуры 15 (погрешность –  $0.1^\circ\text{C}$ ). Поддержание постоянной температуры обеспечивается посредством Пельтье-элементов 12-13.

Блок регистрации зондирующего лазерного излучения характеризуется погрешностью определения углового отклонения пучка лазерного излучения не более 0.04 мрад и состоит из набора плоских поворотных металлических зеркал 16-18; измерителя пространственного профиля пучка лазерного излучения 20, подключенного к блоку питания 21 и ПК 22, и набора нейтральных светофильтров 19. Поворотные зеркала закреплены в узлах, обеспечивающих юстировку в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

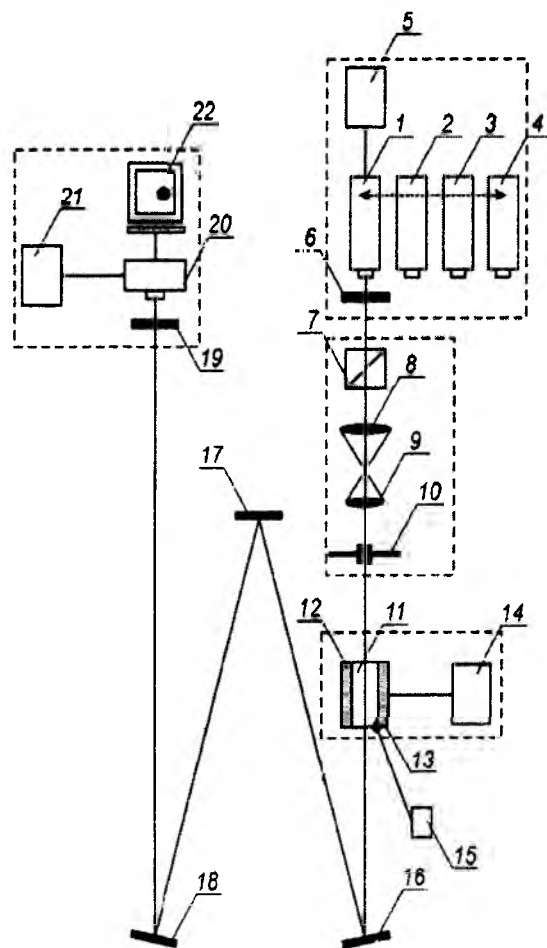


Рисунок 2 – Принципиальная схема измерителя температурного коэффициента показателя преломления лазерных материалов

Блок формирования зондирующего лазерного излучения обеспечивает формирование коллимированного линейно поляризованного пучка зондирующего лазерного излучения и его доставку к поверхности исследуемого образца. Кюветное отделение предназначено для создания в исследуемом образце линейного градиента температуры. Блок регистрации зондирующего лазерного излучения предназначен для регистрации углового отклонения пучка зондирующего лазерного излучения.

Принципиальная схема измерителя приведена на рисунке 2.

На рисунке 3 приведена схема узла крепления исследуемого образца оптического материала, входящего в состав кюветного отделения. Здесь 1 – кронштейн для крепления узла, 2 – массивное основание, выполняющее роль теплоотвода, 3 – элемент Пельтье, 4 и 5 – нагреватели, 6 – исследуемый образец, 7 – направляющие для плавного перемещения охладителя.

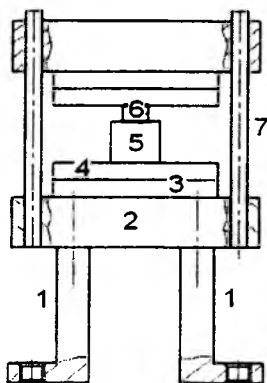


Рисунок 3 – Узел крепления исследуемого образца в измерителе температурного коэффициента показателя преломления лазерных материалов

Технические характеристики разработанного измерителя приведены в таблице 1.

Таблица 1– Технические характеристики измерителя температурного коэффициента показателя преломления лазерных материалов

Длина волны излучения	405, 532, 652, 1064 нм
Чувствительность к изменению длины оптического пути	$0.3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Точность определения коэффициента $dn/dT$	$1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Размер образца	от $8 \times 4 \times 4 \text{ мм}^3$
Число образцов*	1, 2 и 3 шт.
Градиент температуры	$10^\circ\text{C/мм}$
Возможность определения знака величин $dn/dT$	да
Возможность измерений	да

УДК 620.179.14+537.3222.11

## ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОГО И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ДЛЯ ТОЛЩИНОМЕТРИИ ДВУХСЛОЙНЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Лухвич А.А., Булатов О.В., Шарандо В.И.  
Институт прикладной физики НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

Задачи толщинометрии двухслойных покрытий достаточно сложны. Применение различных методов контроля с учетом сочетаний материалов покрытия и основания, диапазонов контролируемых толщин, погрешностей позволит в значительной мере оптимизировать методики и создать средства их реализации. В настоящее время возрастает потребность в средствах контроля камер сгорания жидкостных ракетных двигателей и других изделий ракетной техники с хромоникелевыми покрытиями (хром толщиной до 200 мкм на никеле до 700 мкм) на основаниях из бронзы БрХ08. В данной работе исследованы

в поляризованном свете  
\* для изотропных, оптически одноосных и двухосных материалов

Применение разработанного измерителя позволит существенно упростить процедуру определения температурного коэффициента показателя преломления, а также получить дополнительную информацию о его зависимости от поляризации и длины волны излучения. Данный измеритель будет эксплуатироваться в научных исследованиях и в учебном процессе в БНТУ.

Созданный измеритель был апробирован путем измерения температурных коэффициентов главных показателей преломления  $dn_p/dT$ ,  $dn_m/dT$  и  $dn_g/dT$  для оптически двухосных кристаллов калий-иттриевого вольфрамата с ионами иттербия  $\text{Yb:KY}(\text{WO}_4)_2$ , которые широко используются в лазерной технике. На длине волны излучения 1064 нм получены значения  $-14.6$ ,  $-8.9$  и  $-12.4 [10^{-6} \text{ K}^{-1}]$ .

Созданный опытный образец измерителя находится в Научно-исследовательском центре оптических материалов и технологий БНТУ.

1. On thermal effects in solid-state lasers: The case of ytterbium-doped materials / S. Chenais [et. al.] // Progr. Quant. Electron. – 2006. – Vol. 30. – P. 89–153.
2. Thermo-optic coefficients of monoclinic  $\text{KLu}(\text{WO}_4)_2$  / S. Vatnik [et. al.] // Appl. Phys. B. – 2009. – Vol. 95. – P. 653–656.
3. Thermo-optical properties of pure and Yb-doped monoclinic  $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$  crystals / P.A. Loiko [et. al.] // Appl. Phys. B. – 2012. – Vol. 106. – P. 663–668.

возможности магнитодинамического и термоэлектрического методов при контроле толщины таких покрытий.

Магнитодинамический метод обеспечивает по сравнению с другими магнитными более высокую разрешающую способность, диапазон измерений [1-3] и может использоваться при контроле толщины хромовых покрытий с учетом толщины никеля, никелевых покрытий, в том числе под хромом [2].

При реализации термоэлектрического метода [4] на поверхность изделия устанавливают холодный и нагреваемый электроды с поддержки