

УДК 535.39

*Двенадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.*

Т.Е. Гришуткина, студ.; рук. А.Я. Карасик, д.ф-м.н., проф.

*Национальный Исследовательский Университет МЭИ, Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: grishutkina@list.ru*

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИЧЕСКИХ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ

АННОТАЦИЯ

В докладе рассматривается экспериментальное исследование оптических характеристик керамических и кристаллических планарных волноводов (ПВ). В качестве исследуемых образцов были созданы планарные оптические волноводы на основе фторидных керамик и кристаллов CaF_2 , SrF_2 и их твердых растворов.

КЕРАМИЧЕСКИЕ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАНАРНЫЕ ВОЛНОВОДЫ

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к созданию и исследованию новых типов планарных волноводов (ПВ) возрос с появлением в последнее десятилетие лазерных диодов для накачки лазерных сред. Используемые в качестве активной лазерной среды планарные оптические волноводы, обладают рядом преимуществ по сравнению с объемными средами. Эти преимущества связаны, в частности, с большой длиной взаимодействия излучения со средой, сохранением линейной поляризации лазерного излучения, хорошими теплофизическими свойствами. Различные среды, такие как полупроводники, кристаллы, стекла, пленки использовались для создания ПВ. Количество известных технологических подходов по созданию ПВ многообразно. Для лазерных применений ПВ требуется создать активную лазерную среду с широкой спектральной областью прозрачности и высоким коэффициентом усиления или преобразования. Необходимо учитывать длину взаимодействия излучения накачки и поперечные размеры световедущей сердцевинки, разность показателей преломления сердцевинки и отражающей оболочки, модовый состав излучения, оптические потери, дисперсионные характеристики.

Настоящая работа посвящена экспериментальным исследованиям, заключающимся в измерении параметров керамических и кристаллических планарных волноводов. В качестве модельного объекта исследованы образцы фторидных керамик и кристаллов CaF_2 и SrF_2 . Лазерная керамика обладает рядом достоинств, по сравнению с монокристаллами, а именно: возможность изготовления элементов больших размеров; превосходные механические свойства (твердость и трещиностойкость, что позволяет изготовить пластины сердцевинки с меньшей толщиной, чтобы избежать нежелательных дополнительных напряжений ПВ при его нагреве в технологическом процессе изготовления); большие концентрации ионов-активаторов при их равномерном распределении; возможность получения оптических сред для составов, которые трудно или невозможно приготовить в виде монокристаллов. В докладе представлены полученные с помощью микровизора проходящего света mVizo – 101 изображения волноводных структур, а также измерена геометрия ПВ. Определено понятие числовой апертуры планарного оптического волновода. Рассмотрено распределение интенсивности в дальнем и ближнем поле ПВ. Измерены поляризационные характеристики.

ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПЛАНАРНОГО ВОЛНОВОДА С ПОМОЩЬЮ МИКРОВИЗОРА ПРОХОДЯЩЕГО СВЕТА mVizo – 101

Контроль качества ПВ осуществлялся с помощью микровизора проходящего света mVizo – 101. Микровизоры представляют собой новое поколение микроскопов со сквозным оптико-цифровым каналом наблюдения. Эти приборы являются функционально законченными системами наблюдения, регистрации и обработки микроизображений.

Таким образом, с помощью микровизора mVizo-101 был измерен линейный размер сердцевины планарного волновода (см. рис.1 – рис.6).

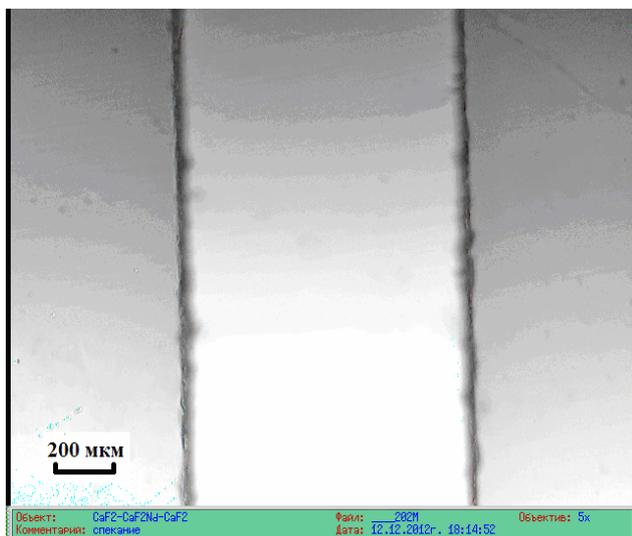


Рис. 1 – Полученное с помощью микровизора изображение грани волноводной структуры, в которой отражающая оболочка состоит из CaF_2 , а сердцевина – из $\text{CaF}_2:\text{Nd}$, Линейный размер сердцевины ≈ 900 мкм

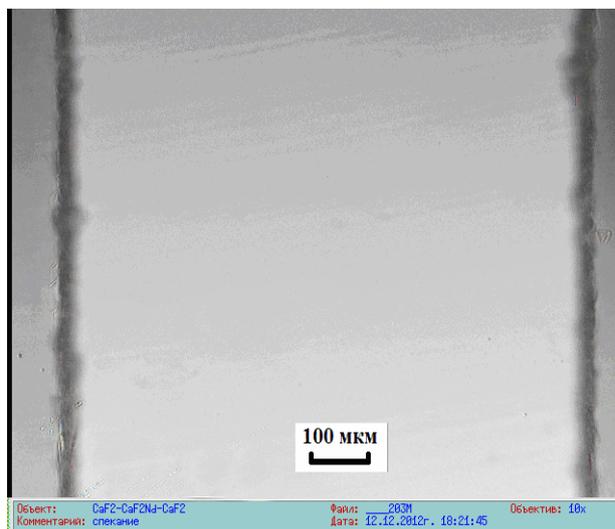


Рис. 2 – Полученное с помощью микровизора изображение грани волноводной структуры, в которой отражающая оболочка состоит из CaF_2 , а сердцевина – из $\text{CaF}_2:\text{Nd}$, Линейный размер сердцевины ≈ 900 мкм



Рис. 3 – Полученное с помощью микровизора изображение грани волноводной структуры, в которой отражающая оболочка состоит из чистых кристаллов CaF_2 , а сердцевина – из керамики $\text{CaF}_2:\text{Nd}$, линейный размер сердцевины ≈ 800 мкм

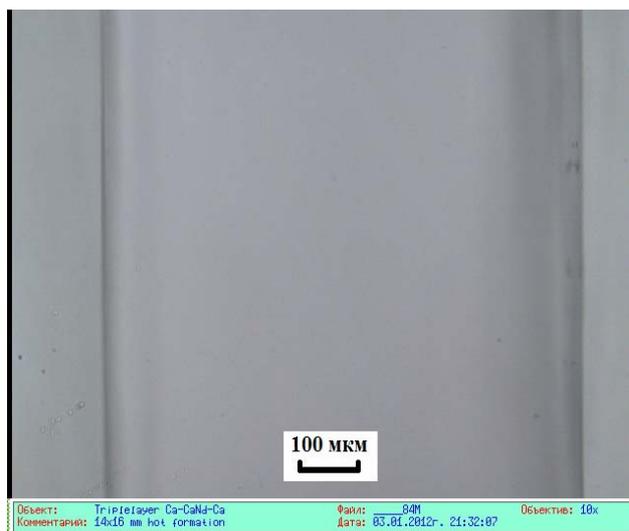


Рис. 4 – Полученное с помощью микровизора изображение грани волноводной структуры, в которой отражающая оболочка состоит из чистых кристаллов CaF_2 , а сердцевина – из керамики $\text{CaF}_2:\text{Nd}$, линейный размер сердцевины ≈ 800 мкм

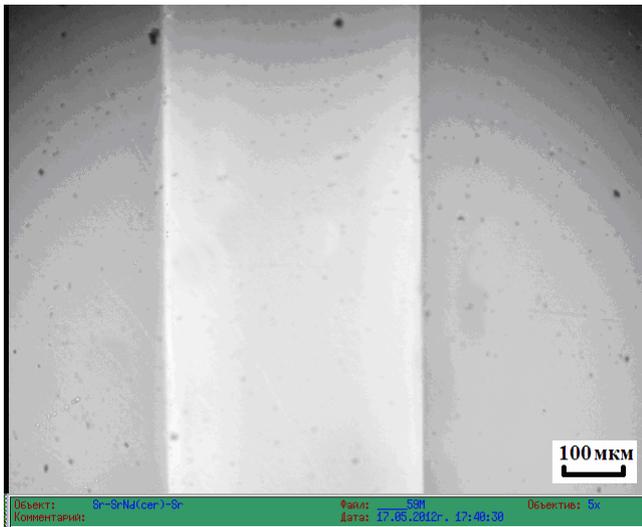


Рис. 5 – Полученное с помощью микровизора изображение грани волноводной структуры, в которой отражающая оболочка состоит из чистых кристаллов SrF₂, а сердцевина – из керамики SrF₂:NdF₃, линейный размер сердцевины ≈ 800 мкм

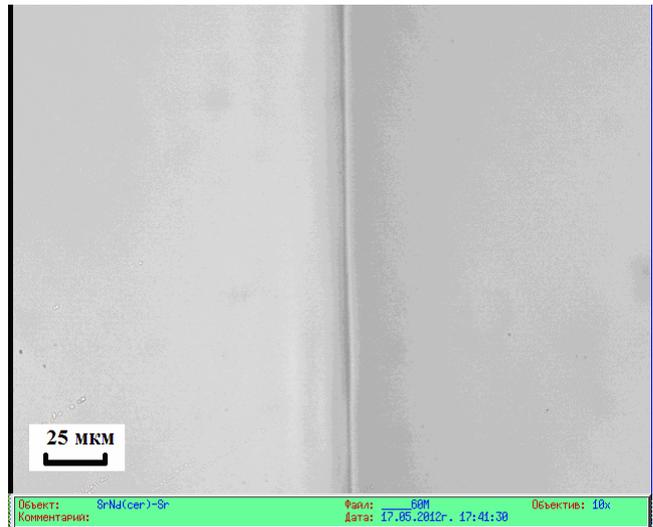


Рис. 6 – Полученное с помощью микровизора изображение грани структуры после горячего формования керамических пластин SrF₂ - SrF₂:NdF₃, линейный размер сердцевины ≈ 800 мкм

На всех фотографиях видно хорошее качество границы между сердцевиной и отражающей оболочкой, а следовательно, и малые вариации поперечных размеров ПВ, что крайне важно для минимальных потерь в ПВ. Следует отметить, что плохое качество границы приводит к трансформации ПВ в нерегулярный волновод [1] и, как следствие, к дополнительным оптическим потерям и возможным вариациям состояния поляризации излучения. К подобным эффектам также могут приводить колебания значения $\Delta n = n_1 - n_2$ по длине волноводов.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧИСЛОВОЙ АПЕРТУРЫ ПЛАНАРНОГО ВОЛНОВОДА NA

Оценка разности Δn в структуре ПВ может быть осуществлена при измерении числовой апертуры NA на выходе ПВ. Для этой цели возбуждение ПВ осуществлялось излучением одномодового He – Ne лазера (633нм), сфокусированным в сердцевину короткофокусной сферической линзой с большой числовой апертурой NA. Числовая апертура ПВ была измерена на выходе волновода в дальнем поле.

Для расчёта числовой апертуры использовали следующую формулу:

$$NA = \sin \alpha = \frac{d/2}{L} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (1)$$

где d – размер полоски (см. рис. 7);

L – расстояние до экрана;

n_1 – показатель преломления сердцевины волновода;

n_2 – показатель преломления оболочки.



Рис. 7 – Распределение интенсивности в дальнем поле

В оптике синус максимального угла падения для лучей, которые ещё соответствуют направляемым модам, называется числовой апертурой. Этот термин также принято использовать для оптических волноводов, поэтому выражение (1) представляет собой числовую апертуру ПВ [1]. Таким образом, были получены следующие результаты, представленные в таблице 1.

Δn (рассчитанное) было получено в результате использования данных статьи [2].

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Образец	NA	Линейный размер сердцевины	Δn (измеренное)	Δn (рассчитанное)
$\text{SrF}_2 - \text{SrF}_2:\text{Nd} - \text{SrF}_2$	Эксперимент: 0,044 Расчет: 0,059	≈ 200 мкм	$6,7 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-3}$
$\text{CaF}_2 - \text{CaF}_2:\text{Nd} - \text{CaF}_2$	Эксперимент: 0,028	≈ 800 мкм	$2,7 \times 10^{-4}$	-
$\text{CaF}_2 - \text{CaF}_2:\text{Nd} - \text{CaF}_2$	Эксперимент: 0,029	≈ 900 мкм	3×10^{-4}	-

ИЗЛУЧЕНИЕ В ДАЛЬНОМ И БЛИЖНЕМ ПОЛЕ ПВ

Для получения изображения распределения интенсивности излучения, оно фотографировалось с помощью ПЗС-матрицы Sanyo VCB-3572 IRP с количеством фоточувствительных элементов 795x596 и, для дальнейшей обработки, передавалось на персональный компьютер (ПК). На ПК было установлено программное обеспечение Spiricon LVA-PC v2.60, с помощью которого сигнал, полученный с ПЗС-матрицы преобразовывался в изображение.

В ближнем поле распределение интенсивности излучения отражает распределение профиля показателя преломления (см. рис. 8).

В дальнем поле наблюдается спекл-картина (см. рис. 9), обусловленная интерференцией разных групп мод. В результате получаем сложные спектры.

Искажение пятна связано с наличием в экспериментальной установке отражающих и преломляющих оптических элементов, а также незначительных погрешностей при юстировке.

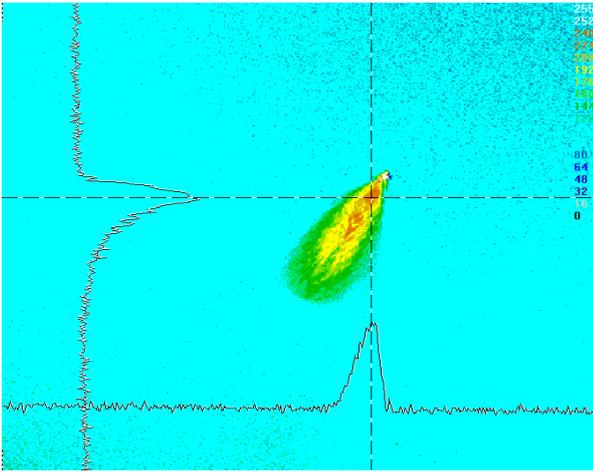


Рис. 8 – Распределение интенсивности в ближнем поле

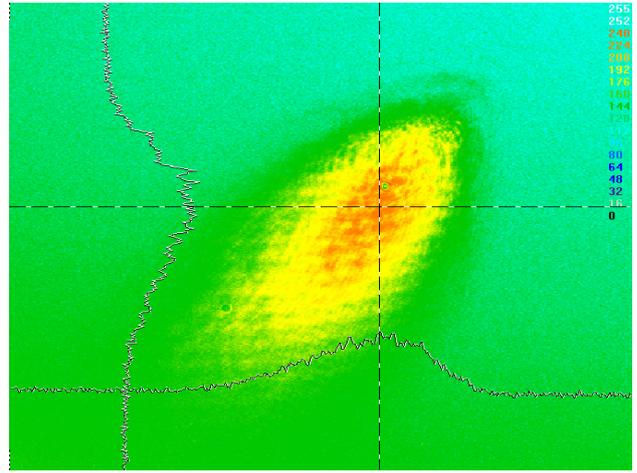


Рис. 9 – Распределение интенсивности в дальнем поле

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ

Построена зависимость степени поляризации как функция от азимута линейной поляризации возбуждения (см. рис. 10).

Степень поляризации Q рассчитывалась по формуле (2):

$$Q = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (2)$$

где I_{max} , I_{min} – это максимальные и минимальные интенсивности, полученные с помощью вращения призмы Глана.

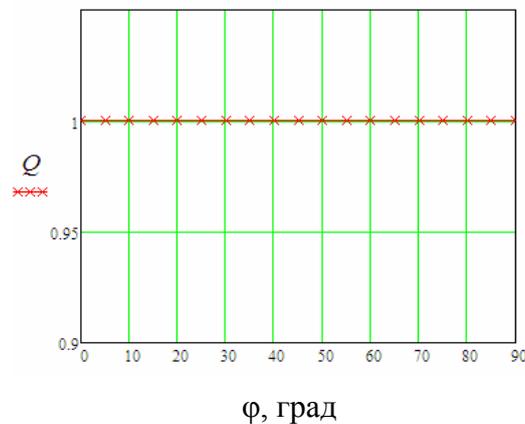


Рис. 10 – Степень поляризации как функция азимута линейной поляризации возбуждения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе представлен краткий обзор материалов ПВ на основе фторидных керамик и кристаллов CaF_2 , SrF_2 , приведены их достоинства и недостатки.

С помощью микровизора проходящего света mVizo – 101 измерены геометрические параметры волноводов. В образцах $\text{CaF}_2 - \text{CaF}_2:\text{Nd}^{3+} - \text{CaF}_2$ и $\text{SrF}_2 - \text{SrF}_2:\text{Nd}^{3+} - \text{SrF}_2$ поперечные размеры сердцевин варьируются от 0,2 до 0,9 мм.

На основе измеренной числовой апертуры NA в кристаллической структуре ПВ на основе $\text{SrF}_2 - \text{SrF}_2:\text{Nd}^{3+} - \text{SrF}_2$ с концентрацией NdF_3 0.5 мол. % оценена разность показателей преломления сердцевины и оболочки: $\Delta n = 1,25 \times 10^{-3}$.

Исследовано распределение интенсивности излучения в дальнем и ближнем поле ПВ. Метод ближнего поля позволил оценить профиль показателя преломления созданных волноводов.

Измерена зависимость степени поляризации излучения на выходе ПВ от азимута входной линейной поляризации. Показано, что в созданных ПВ поляризация линейна и не зависит от азимута возбуждения.

Автор выражает благодарность профессору А.Я. Карасику за постановку задачи и полезные советы и с.н.с. ИОФ РАН им. А.М. Прохорова В.А. Конюшкину за консультации и изготовление новых типов ПВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Унгер Х.-Г.** Планарные и волоконные оптические волноводы. – М.: Мир, 1980.
2. **Глушкова Т.М., Каримов Д.Н., Кривандина Е.А., Жмурова З.И., Соболев Б.П.** Исследование показателей преломления кристаллов/ Кристаллография. 54. 642. 2009.

T.E. Grishutkina

*National Research University Moscow Power Engineering Institute, Russia,
111250, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, E-mail: grishutkina@list.ru*

OPTICAL CHARACTERISTICS OF CERAMIC AND CRYSTAL PLANAR WAVEGUIDES

The report deals with the experimental investigation of the optical characteristics of ceramic and crystal planar waveguides (PW). As of investigated samples were created planar optical waveguides on the basis of ceramics and fluoride crystals CaF₂ and SrF₂ their solid solutions.

CERAMIC AND CRYSTAL PLANAR WAVEGUIDES