

3. Шилкина Н.В. Система естественного освещения // Здания высоких технологий – 2013 – С. 74–83.

4. Соловьев А.К. Проектирование светопрозрачных конструкций и естественного освещения зданий. – М.: МИСИ, 1984 – 115 с.

5. Соловьев А.К. Полые трубчатые световоды: их применение для естественного освещения зданий и экономия энергии // Светотехника. – 2011. – № 5. – С.41–47.

6. Мигалина И. В. Учебное издание. Расчет и проектирование естественного освещения помещений. – М.: Мархи, 2013 – 81 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВЫХ, ПЕРЕДАТОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КВАРЦ-КВАРЦЕВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН**

*Д.Б. Омаров, магистрант гр.4ВМ2Б,*

*Т.О. Турмахан, магистрант гр.4ВМ2Б*

*Г.В. Мурастов, магистрант гр.4ВМ2Б*

*В.П. Ципилев, д.ф-м.н., профессор,*

*А.Н. Яковлев, к.ф-м.н., доцент.*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,*

*E-mail: daniar.o.b@mail.ru*

Использование гибких оптических волокон, обеспечивающих передачу мощного излучения, позволяет создать эффективные лазерные устройства с высокими функциональными возможностями [1]. Электрические системы инициации широко используются в военной и гражданской технике, например, при проведении подрывных работ. При проведении таких работ предъявляются высокие требования к правилам техники безопасности, запасу надежности подрыва, так как имеется высокий фактор риска при ложном срабатывании узла системы. Оптическая система, как замена электрической, показывает отличные результаты, имеет пониженный фактор риска, превосходит электрическую систему по запасу надежности подрыва. Для конструирования такой системы важно знать характеристики оптоволокон, например, такие, как угловая передаточная функция, предел оптической прочности, зависимость угла ввода лазерного пучка от диаметра сердечника. Последняя из перечисленных характеристик практически не исследована и представляет интерес с точки зрения разработки лазерных оптоволоконных исполнительных устройств.

Цель настоящей работы – исследование угловых характеристик ввода лазерного пучка в кварц-кварцевые волокна различного диаметра (0,6 мм – 50 мкм). Вычисление угловой передаточной функции (УПФ) слабоизогнутых волокон. Исследование зависимости УПФ от радиуса изгиба волокна.

В данной работе исследовались кварц-кварцевые ОВ с различными диаметрами сердечника (от 50 мкм до 600 мкм), длиной  $L = 3$  м.

Экспериментальная установка изображена схематически на рисунке 1. Луч твердотельного Nd лазера (1) с нелинейно-преобразующим кристаллом YV04 (532

нм) и лазерно-диодной накачкой, пройдя систему нейтральных светофильтров (2) и диафрагму (3) с  $d_0 = 4$  мм, фокусировалась линзой (4) на входной торец волокна. Торцы закреплены на лимбе (5) с цифровой шкалой для задания/измерения угла падения лазерного луча, обеспечивающем необходимый угол ввода пучка, а выходной торец закрепляется на вход регистрирующей системы. Регистрирующая система представляет собой фотодиод (7), нагруженный на вольтметр (8) по фотогальванической схеме. Прецизионный цифровой вольтметр снабжен встроенным дельта-сигма-преобразователем аналогового сигнала в цифровой, имеет низкую скорость преобразования, но высокую точность измерения.

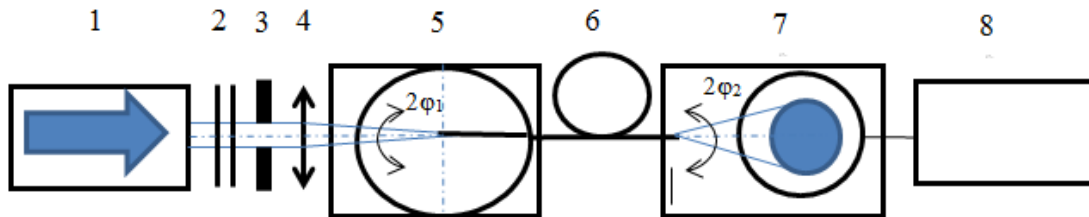


Рис. 1. Схема экспериментальной установки; 1 - лазер; 2 – нейтральные светофильтры; 3 – диафрагма; 4 – линза короткофокусная; 5 – гониометрический стол (лимб); 6 – оптическое волокно; 7 – регистрирующее устройство.

Полная вводимая в ОВ мощность излучения  $P$  определяется соотношением [2]:

$$P = I_0 r^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} G(\varphi, \alpha) B(\varphi, \alpha) d\varphi d\alpha \quad (1)$$

где  $I_0$  – интенсивность на оси пучка,  $r$  – радиус сердечника ОВ,  $\varphi$  – угол ввода, отсчитываемый от оси ОВ;  $\alpha$  – азимутный угол;  $G(\varphi, \alpha)$  – угловая характеристика ввода;  $B(\varphi, \alpha)$  – функция углового распределения преобразованного линзой пучка с начальными параметрами  $d_0$  и  $2\varphi_0$ .

В лучевой (геометрической) оптике для прямого волокна с прямыми торцами [4] выражение (2) называется числовой апертурой волокна и обозначается буквами NA

$$NA = n \sin\varphi = \sqrt{n_{\text{ср}}^2 - n_{\text{об}}^2} = \sqrt{(n_{\text{ср}} - n_{\text{об}})(n_{\text{ср}} + n_{\text{об}})} \approx \sqrt{2n_{\text{ср}}\Delta n}, \quad (2)$$

где  $n_{\text{ср}}$  – показатель преломления сердечника,  $n_{\text{об}}$  – показатель преломления оболочки,

$n$  – показатель преломления воздуха ( $n_{\text{вх}} = n_{\text{вых}} = 1$ )

Расчет (2) показывает, что критический угол ввода  $\sin\varphi$  соответствует числовой апертуре 0,22 радиан. Для анализа необходимо определить угловую характеристику ввода лазерного пучка экспериментальным путем, для каждого типа ОВ, его диаметра сердечника. Экспериментально измерялись угловые характеристики ввода (УХВ), как для положительных, так и для отрицательных углов наклона падающего излучения.

$$G(\varphi) = \frac{I_1(\varphi)}{I_0(1-\rho)}; \quad (3)$$

где  $I_1(\varphi)$  – интенсивность пучка на выходе волокна;  $\rho$  – коэффициент френелевского отражения

Результаты экспериментального измерения УХВ для ОВ с учетом (3) приведены на рисунке 2.

На точность измерение УХВ  $G(\varphi)$  влияет в основном точность юстировки в плоскости сердцевины [2]. Другие источники ошибок, такие, как нестабильность

генерируемой мощности лазера, неточность измерения углов и прочие, пренебрежимо малы.

Так же было рассмотрено влияние френелевского отражения

$$\rho_{\Phi} = \frac{1}{2} \left( \frac{\sin^2(\varphi - \beta)}{\sin^2(\varphi + \beta)} + \frac{\tan^2(\varphi - \beta)}{\tan^2(\varphi + \beta)} \right) \quad (4)$$

где  $\alpha$  - угол падения (падающего пучка),  $\beta$  - угол преломления.

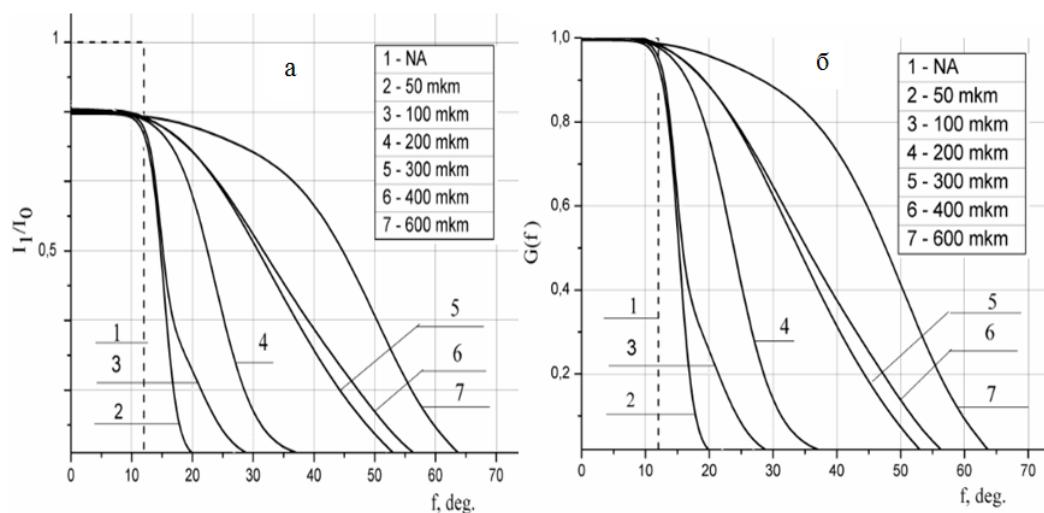


Рис. 2. Угловая характеристика ввода лазерного излучения в оптическое волокно. Цифрами обозначены диаметры сердечника и числовая апертура (2); а) без расчета (3); б) с расчетом (3)

Был произведен расчет функции (4), где выявлена кривая, которая соответствует максимально усреднённом возможному френелевскому отражению для экспериментальной установки.

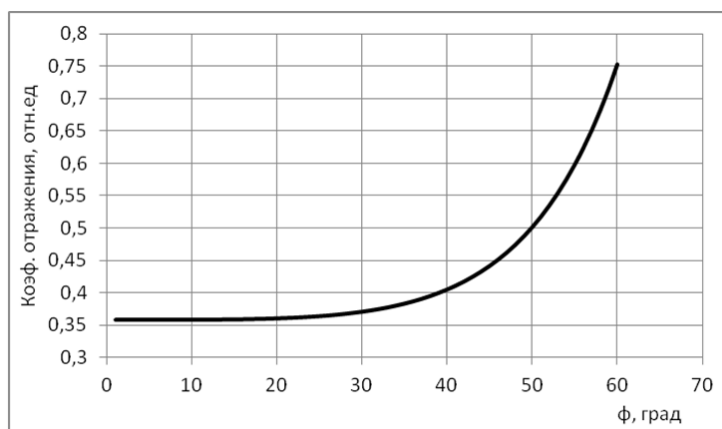


Рис. 3. Кривая френелевского отражения, рассчитанная по формуле (4).

По данным приведенным на рисунке 3 видно, что при увеличении  $\phi$  происходит увеличение френелевского отражения, что частично объясняет потери энергии при изменении угла.

Так же были измерены размеры лазерного пучка на выходе оптического волокна на расстоянии 100 мм от выходного торца. Данная характеристика промежуточная и определяет угловую передаточную функцию (УПФ) [3].

По данным следует, что энергетическое затухание пучка на выходе совпадают с угловыми характеристиками (рис. 2). Так как значительных отклонений размеров лазерного пучка в зависимости от диаметра сердечника ОВ не наблюдается, то УПФ  $M = \varphi_2/\varphi_1$  можно определить для ОВ с самым большим энергетическим затуханием (рис. 4).

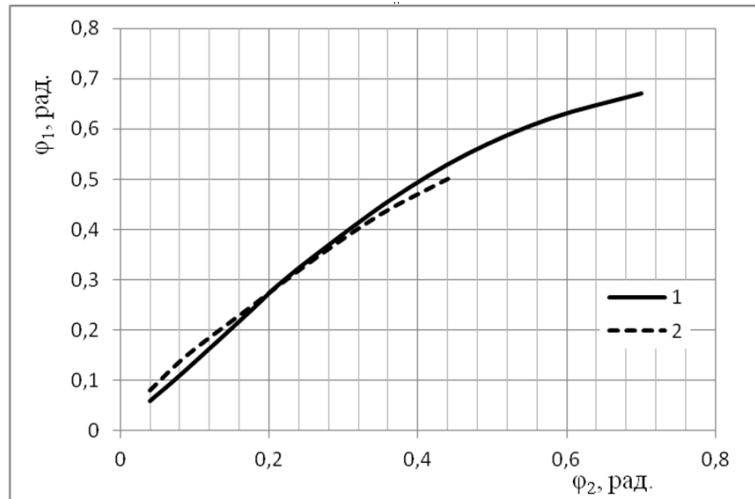


Рис 4. Угловая передаточная функция кварц-кварцевого ОВ для сердечника диаметром: 1 = 600 мкм; 2 = 50 мкм.

Апертуру пучка лазерного излучения проходящего через изогнутое волокно определяем

$$NA = n \sin\varphi = \sqrt{n_{\text{ср}}^2 - \left(\frac{R+1}{R-1}\right)^2 n_{\text{об}}^2} \quad (5)$$

где  $R$  – радиус кривизны волокна в воздухе ( $n_{\text{вх}} = n_{\text{вых}} = 1$ )

Расчет зависимость УПФ от радиуса изгиба волокна (5) показывает что, для изогнутых ОВ значение числовой апертуры меньше, чем для прямых волокон (2).

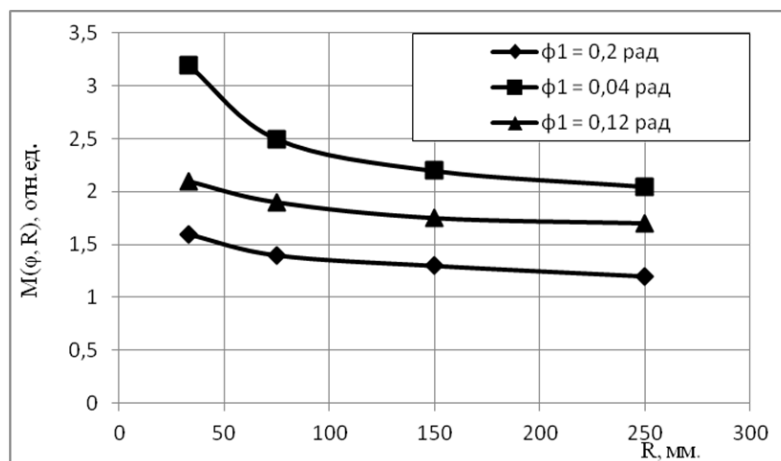


Рис. 5. Экспериментальная зависимость угловой передаточной функции  $M(\varphi, R)$  от относительного радиуса изгиба ( $R$ , мм) оптического волокна ( $d_{\text{ср}} = 600$  мкм).

В данной работе исследовалась передача непрерывного лазерного излучения через оптическое волокно. Были определены угловые характеристики ввода лазерного излучения в ОВ. По результатам работы видно, что для волокон с малым сердечником, угол ввода имеет предел ( $\sim 15^\circ$ ) больше которого ввести энергию можно с большими потерями. Для волокон с 600 мкм сердечником ввести энергию (принимая потери не более 20%) можно с углом ввода  $\sim 30^\circ$ .

Были проведены опыты с изогнутым волокном (рис. 5). Установлено, что для изогнутого волокна значение числовой апертуры меньше, чем для прямых волокон.

Результаты данной работы актуальны для разработки систем согласования и передачи лазерного излучения по оптическому тракту, расчетов потерь при передаче и допустимых углов ввода, изгибов волокна.

### Список литературы:

1. Григорьянц В.В, Королев В. А. Смирнов В. И. и др. / Исследование волоконных световодов для передачи мощного излучения в лазерной технологии // Квантовая электроника. – 1989. – №1. – С.128–130.
2. Кизеветтер Д.В., Малюгин В. И. /Измерение угловых характеристик ввода излучения в волоконные световоды // Оптика и спектрометрия. – 1988. – Т. 64. – № 5. – С.1139–1143.
3. А.Г. Вознюк, С.Е. Зайцев, В.М. Лисицин, В.П. Ципилев / Согласованный с параметрами технологических лазеров передачи излучения по волоконно-оптическому тракту //Оптотехнология. Межвузовский сборник статей. СПб. – 1995. – С.82–87.
4. Апенко Н.И., Дубовик А.С. Прикладная оптика // Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1971. – С.381–392.

## ВЛИЯНИЕ ДИСЛОКАЦИЙ НА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ GAN

*В.И.Олешко д.ф.-м.н,*

*Б.К.Садуова, магистрант группы 4ВМ41,*

*Ли Фэй, магистрант группы 4ВМ41,*

*Ли Цзысюань, магистрант группы 4ВМ 3Б*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-701-777*

*E-mail: samai\_b\_91@mail.ru*

На протяжении последних трех десятилетий наблюдается неуклонный рост интереса к прямозонным широкозонным нитридам III-группы, считающимися перспективными материалами для создания современных оптоэлектронных устройств [1–3]. В настоящее время они являются основой многих ИК и УФ светодиодов, лазерных диодов, полноцветных светодиодных дисплеев и т.д. Нитрид галлия (GaN) обычно послойно наносят на инородную подложку, такую как сапфир ( $Al_2O_3$ ). Из-за разницы параметров решетки непосредственное осаждение нитрида галлия на сапфире приводит к образованию сильнодефектных эпитаксиальных слоев с плотностью