

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СО РАН

Материалы  
12-й Молодежной конкурс-конференции  
«Оптические и информационные технологии 2022»

14-17 августа 2022

Секции  
ОПТИКА И ФОТОНИКА  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Новосибирск

2022

## Оглавление

### Секция «ОПТИКА И ФОТОНИКА»

<u>Бычкова С. А.</u> Поляризационная терагерцовая спектроскопия кристалла гидрофосфата гуанилмочевины (GUHP) .....	5
<u>Зайцева Ю. В.</u> Особенности спектра комбинационного рассеяния света липидного бислоя в области $\text{CH}_2$ колебаний .....	6
<u>Латкин Н.И., Яковин М.Д.</u> Расчет и проектирование Nd:YLF усилителя с продольной накачкой .....	7
<u>Макаров А. О., Бражников Д. В., Гончаров А. Н.</u> Магнитооптические резонансы вращения в поле встречных волн в ячейке с парами $^{87}\text{Rb}$ .....	9
<u>Месензова И. С., Бражников Д. В., Игнатович С. М., Скворцов М. Н.</u> Исследование Штарковского сдвига субдоплеровских резонансов DBR-лазера .....	11
<u>Нетрусова А. С., Антропов А. А.</u> Исследование параметрической генерации в фотонно-кристаллическом волокне в диапазоне 750-800 нм от перестраиваемого волоконного лазера диссипативных солитонов .....	13
<u>Омельченко А. Н.</u> Применение комбинационного рассеяния света дейтерированных меток к характеристике клеточного метаболизма .....	15
<u>Пономарева Л. А., Наливайко В. И.</u> Расчет рефракционно-дифракционного объектива-ахромата из халькогенидного стекла .....	17
<u>Ревякин А. А., Бочкарев Н. В., Гервазиев М. Д., Коляда Н. А., Харенко Д. С.</u> Исследование алгоритма Гершберга-Сакстона для структурирования лазерного пучка .....	19
<u>Ризк Хиба</u> Волоконный интерферометр Маха-Цендера на основе вставки из утоненного волокна для измерения показателя преломления .....	21
<u>Сокольчик Д. П., Шмырова А. И., Пономарев Р. С., Нурмухаметов Д. И.</u> Моделирование процессов в волоконном интерферометре Фабри-Перо .....	23
<u>Филонов А. А., Исаева Я. Г., Пивцов В. С., Коляда Н. А.</u> Измерение хроматической дисперсии оптических волокон с использованием широкополосного фемтосекундного лазерного излучения и одноплечевого интерферометра .....	25
<u>Шмырова А. И., Паньков А. С., Корнилицын А. Р., Пономарев Р. С.</u> Определение фокусного расстояния на интерферометре Фабри-Перо .....	

линзованного волокна, изготовленного методом полировки, травления, оплавления ..... 27

**Секция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

[Ульянова М. М., Романов А. В.](#) Характеризация однородного шара по картине светорассеяния с использованием нейросетей ..... 30

**Секция «ОПТИКА И ФОТОНИКА»**

# Поляризационная терагерцовая спектроскопия кристалла гидрофосфата гуанилмочевины (GUPH)

**С. А. Бычкова<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup> *Институт автоматики и электрометрии СО РАН*

<sup>2</sup> *Новосибирский государственный технический университет*

\*E-mail: [sonya.bychkova@mail.ru](mailto:sonya.bychkova@mail.ru)

DOI:10.31868/OIT-2022-5

Поиск и исследование новых нелинейных сред, эффективных для оптико-терагерцового преобразования интенсивного лазерного излучения, с целью создания широкодиапазонных источников с высокой спектральной яркостью и мощностью в настоящее время является одним из приоритетных направлений развития терагерцовых и оптических технологий. Благодаря высоким значениям нелинейных коэффициентов перспективными для решения обозначенной задачи рассматриваются органические и полурганические кристаллы.

В данной работе с помощью поляризационной терагерцовой спектроскопии изучены оптические свойства моноклинного полурганического кристалла гидрофосфата гуанилмочевины (GUPH), а именно показатель преломления, коэффициент поглощения и частотная зависимости угла поворота диэлектрических осей относительно кристаллографических.

В работе показана успешная реализация методов классической кристаллооптики с применением решетчатых терагерцовых поляризаторов на полипропиленовой подложке при том, что они уступают призматическим элементам, применяемым в оптике, по характеристикам. В результате в диапазоне 300–850 ГГц с точностью  $\pm 0,5^\circ$  измерена дисперсия угла поворота главных оптических осей кристалла GUPH, составившая  $2,3^\circ$  на 100 ГГц. Дополнительно охарактеризованы пики поглощения оси x кристалла на частотах 1,45 и 1,85 ТГц.

# Особенности спектра комбинационного рассеяния света липидного бислоя в области $\text{CH}_2$ колебаний

**Ю.В.Зайцева**

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН*

*E-mail: [julmari3@mail.ru](mailto:julmari3@mail.ru)*

**DOI:10.31868/OIT-2022-6**

Спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС) широко применяется для исследования фосфолипидных мембран. Многие линии в спектрах КРС чувствительны к фазовому состоянию мембраны, их интенсивности зависят от упорядоченности липидного бислоя. Наиболее интенсивными в спектрах комбинационного рассеяния света фосфолипидов являются линии валентных  $\text{CH}_2$  колебаний в частотном диапазоне  $\sim 2800$ - $2900 \text{ см}^{-1}$ . Обычно выделяют вклад от симметричных  $\text{CH}_2$  колебаний на частоте  $\sim 2850 \text{ см}^{-1}$  и вклад от антисимметричных  $\text{CH}_2$  колебаний на частоте  $\sim 2880 \text{ см}^{-1}$ . Известно, что отношение интенсивностей этих двух линий чувствительно к конформационному порядку липидных хвостов, а также реагирует на нарушения латерального порядка, поэтому отношение линий антисимметричных и симметричных  $\text{CH}_2$  колебаний часто используется в качестве параметра, характеризующего упорядоченность липидной мембраны [1].

В данной работе интенсивность линий симметричных и антисимметричных  $\text{CH}_2$  колебаний измеряется независимо, исследуется их чувствительность к изменению температуры и к изотопному замещению. Для этого получены спектры КРС многослойных везикул фосфолипида DPPC, его аналога с полностью дейтерированными хвостами DPPC-d62, а также смеси этих двух липидов в температурном диапазоне  $100$ - $320 \text{ К}$ .

Показано, что линия антисимметричных  $\text{CH}_2$  колебаний проявляет чувствительность в основном к конформациям липидных хвостов, а линия симметричных  $\text{CH}_2$  колебаний меняет свою температурную зависимость при изотопном замещении, то есть проявляет чувствительность к латеральному порядку.

## Литература

[1] Адищев С. В. и др. Спектр колебаний  $\text{CH}_2$  как мера конформационного и латерального порядков в слоях жирных кислот и фосфолипидов //Автометрия. – 2018. – Т. 54. – №. 6. – С. 12-20.

# Расчет и проектирование Nd:YLF усилителя с продольной накачкой

**Латкин Н.И.\* , Яковин М. Д.**

*Новосибирский государственный технический университет*

*\*E-mail: [nikita.latkiniv@mail.ru](mailto:nikita.latkiniv@mail.ru)*

DOI:10.31868/OIT-2022-7-8

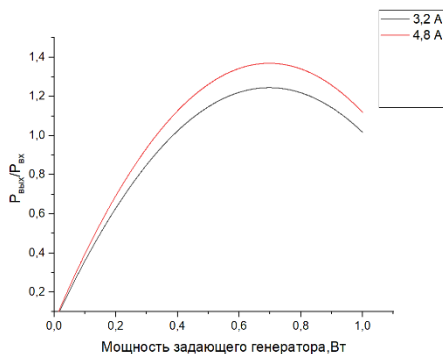
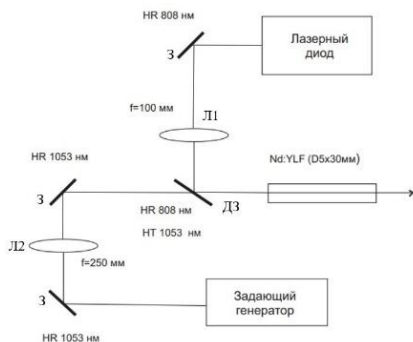


Рис.1. Схема установки; 3-поворотное зеркало, ДЗ-дихроичное зеркало, Л1-линза для накачки, Л2-линза для задающего

Рис.2. График зависимости  $P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$  от мощности задающего генератора (ток 3.2 А и 4.8 А)

На Рис. 1 представлена схема установки. За основу схемы взята конфигурация МОРА(задающий генератор усилитель мощности).Для накачки использовался непрерывный лазерный диод с волоконным выходом, максимальной выходной мощностью 55 Вт и длиной волны 808 нм.В качестве задающего генератора использовался Nd:YLF лазер с длиной волны 1053 нм и частотой повторения 1000 Гц.

На Рис. 2 представлен график зависимости  $P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$  от мощности задающего генератора (ток 3.2 А и 4.8 А). Данные были взяты при мощности накачки 13 и 24 Вт. Разница в  $P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$  между различными мощностями накачки составила примерно 10%. Было получено усиление  $G=1,3$  за один проход. Для теоретического расчета использовалась формула Франца-Нодвика [1].

Был описан процесс ETU (Energy-Transfer Upconversion) [2]. На Рис. 3 показано, что ETU, при продольной накачке, снижает мощность, при которой происходит пробой кристалла, примерно на 30%. В дальнейшем будет использоваться многопроходная конфигурация, что позволит увеличить коэффициент усиления. Установка будет применяться для использования в источнике накачки параметрического генератора света для целей фотоакустической спектроскопии.

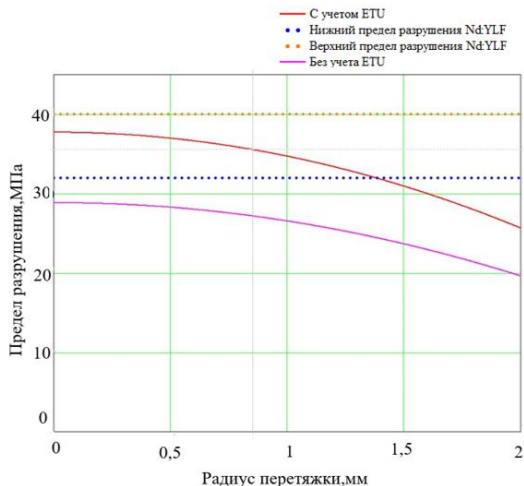


Рис.3. Предел разрушения Nd:YLF с учетом ETU и без

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (грант № 17-72-30006-П). Работы по изготовлению механической оснастки (плита, стойки) выполнена за счёт средств госзадания № FSUS-2020-0036.

## Литература

[1] Frantz L. M., Nodvik J. S. Theory of pulse propagation in a laser amplifier //Journal of applied physics. – 1963. – Т. 34. – №. 8. – С. 2346-2349.

[2] Hardman P. J. et al. Energy-transfer upconversion and thermal lensing in high-power end-pumped Nd: YLF laser crystals //IEEE Journal of Quantum Electronics. – 1999. – Т. 35. – №. 4. – С. 647-655.



# Магнитооптические резонансы вращения в поле встречных волн в ячейке с парами $^{87}\text{Rb}$

**А. О. Макаров<sup>1,2\*</sup>, Д. В. Бражников<sup>1,2</sup>, А. Н. Гончаров<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт лазерной физики СО РАН*

<sup>2</sup> *Новосибирский государственный университет*

<sup>3</sup> *Новосибирский государственный технический университет*

\*E-mail: [werklore@mail.ru](mailto:werklore@mail.ru)

DOI:10.31868/OIT-2022-9-10

В настоящий момент разработкой высокочувствительных магнитометров с оптической накачкой занимаются во многих лабораториях мира. Эти квантовые устройства имеют весьма широкую сферу применений от исследований ядерного магнитного резонанса (ЯМР) до применений в биомедицине. В нашей работе предлагается модификация (Рис.1) стандартной схемы Ханле, используемой в современных миниатюрных квантовых сенсорах магнитного поля (например, от компании QuSpin Inc., США). В отличие от стандартной конфигурации с одной бегущей волной мы используем две встречные линейно поляризованные световые волны, резонансные оптическому переходу в  $D_1$  линии рубидия-87 ( $\lambda \approx 795$  нм).

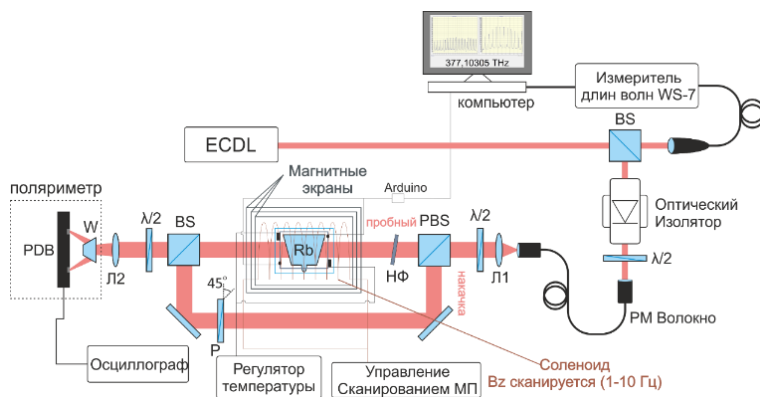


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: ECDL – лазерный диод с внешним резонатором, BS – делитель пучка (50/50), PBS – поляризационный делительный кубик, НФ – нейтральный фильтр, PDB – балансный фотодетектор, Rb – цилиндрическая стеклянная ячейка с парами рубидия-87 и буферным газом (длина ячейки 25 мм, диаметр 20 мм), W – призма Волластона,  $\lambda/2$  – полуволновая пластинка, P – поляризатор. Температура ячейки  $\approx 74^\circ\text{C}$

Волна накачки наводит в резонансной среде линейный дихроизм. Пробная волна, линейная поляризация которой находится под углом 45 градусов относительно волны накачки, имеет компоненту поляризации, параллельную волне накачки ( $E_{||}$ ) и компоненту поляризации, ортогональную ей ( $E_{\perp}$ ). При этом компонента  $E_{||}$  практически не поглощается в среде из-за явления когерентного пленения населенностей (КПН), тогда как  $E_{\perp}$  испытывает сильное поглощение [1]. Таким образом, происходит вращение линейной поляризации (Рис.2) пробной волны при распространении через ячейку. Магнитооптический резонанс регистрировался в разностном канале балансного фотодетектора (Рис.1) и имел полную ширину на полувысоте около 1 МГц (100 нТл) и величину поворота угла поляризации  $\approx 23$  градуса.

Результаты наших экспериментов сопоставимы с результатами других работ [2-4]. На основе предложенной схемы наблюдения магнитооптических резонансов может быть разработан

высокочувствительный магнитометр. В схеме на основе нелинейного фарадеевского вращения температура атомов, как правило, выше 100°C [5], в предложенной нами схеме нагрев ячейки осуществляется до температур 70-80°C. На частоте 60 Гц, при которой планируется осуществлять сканирование магнитного поля, значение сигнал/шум в полосе 1 Гц равно порядка  $10^5$ , что дает оценку чувствительности измерений магнитного поля на уровне  $1 \text{ пТл/Гц}^{1/2}$ .

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-52-18004) и Министерства науки и высшего образования РФ (тема № АААА-А19-119102890006-5).

## Литература

- [1] D.V. Brazhnikov, S.M. Ignatovich et al., J. Phys. B: At. Mol. Opt., 52, 215002 (2019)
- [2] D. Budker, D. F. Kimball et al., Phys. Rev. A, 62, 043403 (2000)
- [3] N. Wilson, P. Light et al., Phys. Rev. Applied, 11, 044034 (2019)
- [4] C. J. Zhu, J. Guan et al., OSA Continuum., 4, 2527 (2021)
- [5] V. Shah, S. Knappe et al., Nature Photonics, 1, 649 (2007)

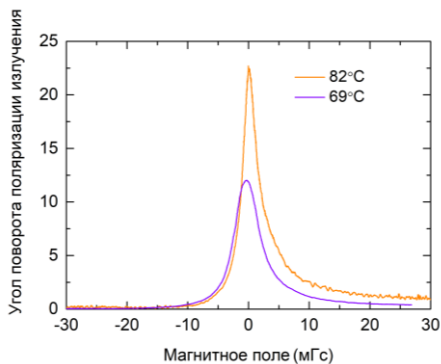


Рис. 2. Резонансы вращения при разных температурах исследуемой ячейки.

# Исследование Штарковского сдвига субдоплеровских резонансов DBR-лазера

**И. С. Месенцова<sup>1\*</sup>, Д.В. Бражников<sup>1,2</sup>, С.М. Игнатович<sup>1</sup>, М.Н. Скворцов**

<sup>1</sup>Институт лазерной физики СО РАН

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет

<sup>3</sup>Новосибирский государственный технический университет

\*E-mail: [mesenzova.i@yandex.ru](mailto:mesenzova.i@yandex.ru)

DOI:10.31868/OIT-2022-11-12

Высококонтрастные субдоплеровские резонансы, наблюдаемые в парах атомов щелочных металлов в поле встречных двухчастотных лазерных пучков, имеют хорошие перспективы в квантовой метрологии для создания миниатюрного оптического стандарта частоты. Спектроскопия высокого разрешения атомов и молекул имеет множество приложений как в фундаментальной, так и в прикладной науке [1-2].

Здесь мы рассматриваем альтернативный подход, основанный на двухчастотной субдоплеровской спектроскопии атомов цезия [3]. Недавно он был испытан в ячейке с парами  $87\text{Rb}$  [4]. Поэтому такой подход имеет хорошие перспективы для разработки миниатюрных КСЧ. Для решения проблемы миниатюризации мы изучаем возможность использования лазерного диода с распределенным брэгговским отражателем (DBR) с прямой модуляцией для создания необходимого двухчастотного режима возбуждения атомов. На Рис. 1 представлена схема эксперимента для наблюдения сдвигов центра резонанса, а на Рис. 2 результаты эксперимента. Для схемы с волоконным ЭОМ вместо обычного волокна, соединяющего части установки и

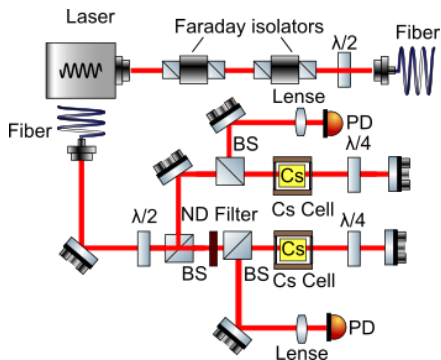


Рис. 1 Схема экспериментальной установки для наблюдения сдвигов.

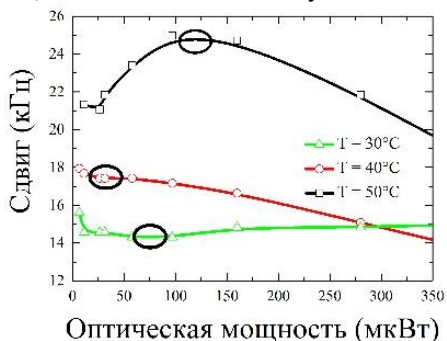


Рис. 2 Зависимость смещения центра субдоплеровского резонанса от центра от оптической мощности

формирующего пучок для DBR-лазера, подключаются ЭОМ и усилитель для него. В схеме используются две ячейки с парами  $^{133}\text{Cs}$ , одна ячейка использовалась для стабилизации частоты лазера по центру субдоплеровского резонанса при различных интенсивностях оптических полей, регулируемых с помощью нейтрального фильтра перед ячейкой, а вторая для измерения сдвига реперного резонанса. Стабилизация и анализ центра резонанса проводились методом синхронного детектирования резонанса. Сдвиг резонансов между ячейками вычислялся из измеренного уровня сигнала ошибки реперного резонанса с учётом крутизны квантового дискриминатора. Такой способ позволил измерять центр резонанса с точностью  $\sim 10$  Гц за 1 с. Поставлены эксперименты по наблюдению светового сдвига субдоплеровского резонанса в многочастотном поле DBR лазера и проанализировано его поведение при разных оптических мощностях и температуре ячейки с парами Cs. Целью этих исследований является поиск экстремумов в наблюдаемых зависимостях, т.е. точек (параметров поля при заданной температуре ячейки), где сдвиг обращается в ноль, на Рис. 2 изображены чёрными кругами. Такой режим наблюдения резонанса является перспективными для получения долговременной нестабильности.

Оценивая шумы сигнала ошибки на выходе синхронного детектора получена расчётная кратковременная нестабильность  $\sigma(1\text{s}) \approx 1 \cdot 10^{-13}$

$$\sigma(1\text{s}) \approx \frac{1}{\nu \cdot Q} = \frac{\lambda}{c \cdot Q}, \text{ где}$$

$\lambda = 895$  нм. Из экспериментов для дифф. режима регистрации  $Q \approx 3 \cdot 10^7$   $1/\text{Гц} = 3 \cdot 10^{-2}$   $1/\text{Гц}$ . Знак « $\approx$ » означает, что может быть использован ещё некоторый числовой коэффициент порядка 1, зависящий от формы линии резонанса. Им пренебрегаем. Ожидаемый полученный результат находится на уровне развития мировой науки и пока не достигнут.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант №20-32-90029).

## Литература

- [1] Letokhov V. S., Chebotayev V. P. Nonlinear L.S. – Berlin: Springer-Verlag, 1977. – Т. 4
- [2] Skvortsov M. N. et al. Miniature quantum frequency standard based on the phenomenon of coherent population trapping in vapours of  $^{87}\text{Rb}$  atoms //Q.E. – 2020. – Т. 50. – №. 6. – С. 576.
- [3] Maurice V. et al. Miniaturized optical frequency reference for next-generation portable optical clocks //Optics Express. – 2020. – Т. 28. – №. 17. – С. 24708-24720.
- [4] Brazhnikov D. et al. Dual-frequency sub-Doppler spectroscopy: Extended theoretical model and microcell-based experiments //Physical Review A. – 2019. – Т. 99. – №. 6. – С. 062508.

# Исследование параметрической генерации в фотонно-кристаллическом волокне в диапазоне 750-800 нм от перестраиваемого волоконного лазера диссипативных солитонов

**А.С. Нетрусова<sup>1,2</sup>, А.А. Антропов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт автоматизации и электрометрии СО РАН*

<sup>2</sup> *Новосибирский государственный университет*

[a.netrusova@g.nsu.ru](mailto:a.netrusova@g.nsu.ru)

DOI:10.31868/OIG-2022-13-14

В настоящее время большой интерес представляет разработка универсальных волоконных когерентных ИК-источников в диапазоне 1- 10 мкм для широкого использования в медицине. В частности, для выявления сердечно-сосудистых, онкологических, нейродегенеративных и хронических респираторных заболеваний требуется разработка недорогих диагностических средств для раннего выявления вышеперечисленных заболеваний, предпочтительно с использованием неинвазивных подходов. При создании высокочувствительной аналитической аппаратуры в качестве перестраиваемых источников ИК-излучения можно использовать волоконные оптические параметрические генераторы (ВОПГ) с накачкой мощным одночастотным лазером ближнего ИК-диапазона, которые имеют максимально широкий диапазон непрерывной перестройки (0.4- 2.5 мкм) [1].

В данной работе в качестве источника накачки используется волоконный оптический иттербиевый лазер с синхронизацией мод, работающий в режиме диссипативных солитонов, генерирующий импульсы с частотой повторения 10,8 МГц. Кроме того, в данном лазере возможна перестройка по центральной длине волны с сохранением режима генерации в диапазоне 1019-1037 нм, осуществляемая с помощью дифракционной решетки [2]. Также для получения параметрического сигнала требуется пиковая мощность выше 1 кВт, которая достигается благодаря реализации двух каскадов волоконного оптического иттербиевого усилителя на выходе задающего генератора.

Принцип работы ВОПГ основан на нелинейном эффекте, возникающем в высоконелинейном волоконном световоде, называемом частично вырожденным четырёхволновым смешением (ЧВС). Процесс параметрической генерации во многом зависит от степени соблюдения условия фазового синхронизма ( $\Delta k = 0$ ), при котором происходит наибольшее усиление колебаний светового вектора за счет интерференции световых волн, переизлученных в различных точках нелинейной среды. В данной работе в качестве высоконелинейной среды используется фотонно-кристаллическое волокно (ФКВ, LMA-5 PM) [3], позволяющее генерировать параметрический сигнал в широкой области (730-850 нм) [4] за счет соблюдения условия фазового синхронизма. Реализованная схема установки представлена на Рис. 1.

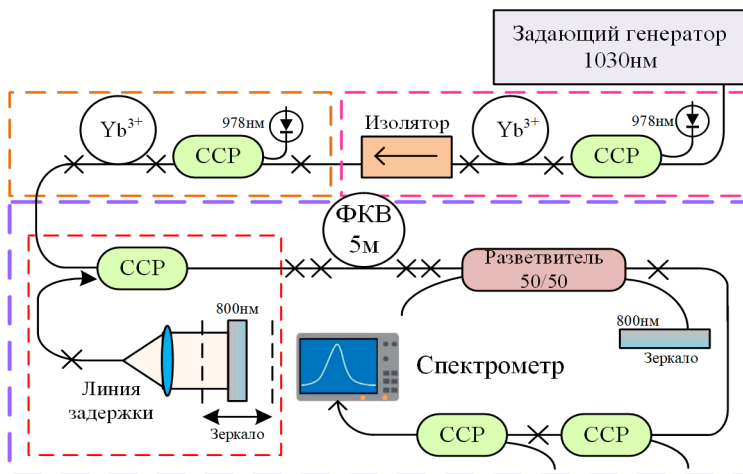


Рис. 1. Схема установки. ССР — спектрально селективный разветвитель,  $Yb^{3+}$  — активное волокно, легированное ионами иттербия, ФКВ — фотонно-кристаллическое волокно.

В процессе работы проведена оптимизация каскадов усиления с двумя видами волокон, определены оптимальные длины активного волокна и выходные характеристики излучения, а также проведены измерения шумовых характеристик представленных усилителей. Установлено, что усиление первого каскада достигает всего 5 дБ, а максимальный уровень шума (шум-фактор) – 21 дБ. Аналогичные измерения для двух различных волокон второго каскада продемонстрировали, что наилучшие результаты достигаются для волокна производства CorActive: коэффициент усиления составляет 27 дБ, а шум-фактор находится в диапазоне 11-26 дБ. Получен параметрический сигнал вблизи 800 нм, согласующийся с теорией. Также в работе продемонстрирована зависимость параметрического усиления от поворота поляризации на  $90^\circ$ .

## Литература

- [1] Sylvestre T., Mussot A. et al., *Fiber and Integrated Optics* 27(6) (2008)
- [2] B. N. Nyushkov, A. A. Antropov et al., *Proceedings - ICLO 2018* (2018)
- [3] Е. А. Злобина, С. И. Каблуков, *Автометрия* 49(4) (2013)
- [4] E. Evmenova, et al, *Proc. SPIE* 11190 (2019)

# Применение комбинационного рассеяния света дейтерированных меток к характеристике клеточного метаболизма

**А. Н. Омельченко<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет

<sup>2</sup>Институт автоматики и электрометрии СО РАН

\*Email: [a.omelchenko@g.nsu.ru](mailto:a.omelchenko@g.nsu.ru)

DOI:10.31868/OIT-2022-15-16

Необходимость в характеристике клеточного метаболизма часто возникает при изучении реакций клеток на изменения окружающей среды. При этом важным является развитие новых подходов для изучения обмена веществ, позволяющих неразрушающим бесконтактным образом получать информацию о метаболизме одиночных клеток. Отслеживая реакции, специфичные для одного соединения, можно изучать функционирование конкретных метаболических цепочек. В этом помогает использование изотопных меток, которые могут участвовать во внутриклеточных преобразованиях и вовлекаться в синтез специфичных для метаболической цепочки молекул.

Существуют несколько методов детектирования в клетке меченных соединений. Такими являются масс-спектрометрия и комбинационное рассеяние света дейтерированных меток (D-KPC). Масс-спектрометрию относят к точным аналитическим методам, но этот подход предполагает разрушение в большом количестве, что невозможно при исследовании микроскопических одиночных клеток. Методы КРС являются неинвазивными и позволяют отследить накопление меченых молекул в клетке, поэтому для данного исследования мы будем пользоваться ими.

В данной работе исследуется возможность применения D-KPC для изучения метаболических цепочек, в одиночных биологических клетках. В качестве биологических клеток использовались премиплантационные эмбрионы мыши и дрожжевые клетки. Эмбрионы мыши были подготовлены сотрудниками сектора криоконсервации и репродуктивных технологий ИЦиГ СО РАН.

Показано, что после суточного культивирования в присутствии D<sub>2</sub>O (D<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O=1/4) в спектрах дрожжевых клеток, выращенных в присутствии кислорода, появляются линии КРС соответствующие частично дейтерированным липидам и белкам (см<sup>-1</sup>). При культивировании дрожжевых клеток в бескислородной среде данные линии КРС отсутствуют, однако в спектрах клеточного окружения наблюдаются линии (см<sup>-1</sup>), которые могут быть связаны с формированием частично дейтерированного этанола. В случае эмбрионов мыши, новых линий соответствующих образованию меченых дейтерием соединений не наблюдалось. Последний результат указывает на токсичность D<sub>2</sub>O для эмбрионов мыши.

При культивировании с дейтерированной стеариновой кислотой в спектрах эмбрионов мыши наблюдались линии ( $\text{см}^{-1}$ ), соответствующие насыщенным дейтерированным липидам. С помощью метода главных компонент были выделены спектры липидов в составе эмбрионов мышей, сделана оценка уровня накопления дейтерированных соединений по отношению соответствующих пиков спектра дейтерированных и недеийтерированных липидов. Показано, что в контрольной группе новые, дейтерированные, липиды составляют примерно 13 % от общего состава. Было обнаружено, что эмбрионы после криоконсервации могут накапливать большее количество дейтерированной стеариновой кислоты.

Таким образом, в работе показано, что D-KPC позволяет детектировать метаболиты, характерные тому или иному метаболическому пути, а также определять их соотношение в клетке.



# Расчет рефракционно-дифракционного объектива-ахромата из халькогенидного стекла

**Л.А. Пономарева<sup>1\*</sup>, В.И. Наливайко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Новосибирский государственный университет

<sup>2</sup> Институт автоматики и электрометрии СО РАН

\*E-mail: [ludapon68@gmail.com](mailto:ludapon68@gmail.com)

DOI:10.31868/OIT-2022-17-18

Изготовление качественного объектива для работы в ближнем и среднем ИК-диапазоне является актуальной проблемой. С помощью применения дифракционной оптики возможно уменьшение габаритов и массы объективов, а использование стеклообразных халькогенидных полупроводников, прозрачных в широком спектральном диапазоне, расширит температурный диапазон работы объективов и обеспечит их низкую стоимость.

Ахроматизацию простой линзы (Рис. 1а) можно произвести двумя способами: 1) добавить отрицательную линзу из материала с другой дисперсией, получив дублет (Рис.1б), 2) нанести на поверхность линзы фазовую зонную пластинку, получив рефракционно-дифракционный элемент (Рис. 1в).

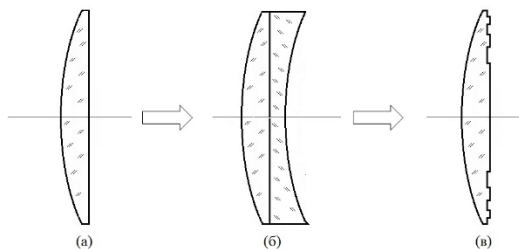


Рис. 1. Способы ахроматизации: а – линза из объемного стекла, б – дублет-ахромат, в – рефракционно-дифракционный объектив-ахромат.

Расчеты абберационных характеристик данного рефракционно-дифракционного объектива проводились для следующих исходных данных:

- диапазон рабочих длин волн для устранения хроматизма 1–5 мкм;
- фокусное расстояние объектива  $f_0 = 35$  мм на длине волны  $\lambda_0 = 3$  мкм;
- показатель преломления халькогенидного стекла состава  $As_2S_3$  был принят равным ( $n_{\lambda=1\text{мкм}} = 2,48$ ,  $n_{\lambda=2\text{мкм}} = 2,43$ ,  $n_{\lambda=5\text{мкм}} = 2,41$ ) [1].

Дисперсионные зависимости показателя преломления стекла  $As_2S_3$  были получены на основе трех точек по формуле Коши.

Фокусное расстояние  $f$  объектива, состоящего из плосковыпуклой линзы и зонной пластинки с фокусными расстояниями  $f_l$  и  $f_{zP}$  соответственно, рассчитывается как:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_{ZP}}$$

где фокусы  $f_1$  и  $f_{ZP}$  рассчитываются по стандартным формулам тонкой линзы и зонной пластинки [2].

Для выполнения ахроматизации использовались следующие исходные условия:

$$f_{\lambda_1} = f_{\lambda_2}$$

$$f_{\lambda_0} = f_0$$

Таким образом находим параметры объектива:  $R_1 = 51,4$  мм;  $R_2 = 1,7$  мм.

На Рис. 2 представлены зависимости фокусного расстояния от длины волны одиночной плосковыпуклой линзы из халькогенидного стекла состава  $As_2S_3$ , имеющей фокусное расстояние 35 мм на длине волны 3 мкм, и дифракционно-рефракционного объектива с данными параметрами.

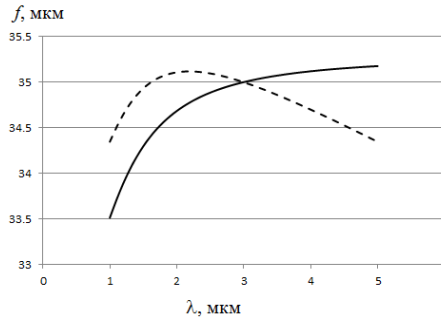


Рис. 2. Зависимости фокусных расстояний плосковыпуклой линзы (сплошная линия) и рефракционно-дифракционного объектива (пунктирная линия) от длины волны излучения.

Видно, что одиночная объемная линза из халькогенидного стекла состава  $As_2S_3$  обладает хроматизмом ( $f_1 - f_2$ ), равным -1,66 мм. У гибридного дифракционно-рефракционного объектива хроматизм устранен ( $f_1 = f_2$ ), а остаточный хроматизм составляет - 0,77 мм, то есть в этом случае будет достигнуто уменьшение aberrации более, чем в два раза.

## Литература

- [1] Е. Н. Котликов, Ю. А. Кузнецов и др. Научное приборостроение. 18, 3, 32–37 (2008)
- [2] Th. Stone, N. George Applied Optics 27, 14, 2960-2971 (1988)

# Исследование алгоритма Гершберга-Сакстона для структурирования лазерного пучка

**А.А. Ревякин<sup>1\*</sup>, Н.В. Бочкарев<sup>1</sup>, М.Д. Гервазиев<sup>1,2</sup>, Н.А. Коляда<sup>1,2,3</sup>,  
Д.С. Харенко<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет

<sup>2</sup>Институт автоматики и электрометрии СО РАН

<sup>3</sup>Институт лазерной физики СО РАН

\*E-mail: [a.rev yakin@ngsu.ru](mailto:a.rev yakin@ngsu.ru)

DOI:10.31868/OIT-2022-19-20

Такая задача как введение в многосердцевинное оптическое волокно нескольких пучков заданной мощности может быть решена путем структуризации пучка – искривления фазового фронта первичного пучка особым образом. Структурированный пучок создает в фокальной плоскости изображение из нескольких ярких пятен для ввода излучения в сердцевину волокна.

Фазовый пространственный модулятор света (ФПМ) позволяет изменять структуру фазового фронта лазерного пучка, отраженного от его экрана. Записанная на экран модулятора матрица, содержащая информацию об изменении кривизны фронта, называется фазовой маской. После прохождения фурие-линзы измененный пучок создает в фокальной плоскости интерференционную картину, характер которой зависит от фазовой маски на экране ФПМ. Существуют различные алгоритмы для нахождения фазовой маски (восстановления фазы), соответствующей определенным распределениям интенсивности в заданной области пространства, обычно вблизи фокальной плоскости фурие-линзы.

Целью работы было реализация и модификация алгоритма восстановления фазы для разделения лазерного пучка, падающего на экран ФПМ, на несколько отраженных пучков с заданной долей мощности в каждом из них. За основу взят поточечный алгоритм Гершберга-Сакстона с весами [1] и модифицирован для получения возможности управлять интенсивностями отдельных ярких пятен.

Суть алгоритма выражается формулой:

$$\varphi(x, y) = \arg(e^{i\Delta_1(x,y)} + \dots + e^{i\Delta_M(x,y)}), \quad (1)$$

где  $\varphi(x, y)$  – искомая фазовая маска на экране ФПМ,  $e^{i\Delta_k(x,y)}$  – поле  $k$ -ого отраженного пучка, который требуется получить. Для управления мощностью каждого пучка в формулу (1) добавляются дополнительные степени свободы  $w$  и  $\theta$ , которые меняются в процессе итераций алгоритма, пока не будет достигнуто соответствие заданных и вычисленных на последней итерации мощностей пучков:

$$\varphi(x, y) = \arg(w_1 e^{i\Delta_1(x,y)+i\theta_1} + \dots + w_M e^{i\Delta_M(x,y)+i\theta_M}) \quad (2)$$

Для сгенерированных фазовых масок выполнялось двумерное преобразование Фурье, чтобы смоделировать действие фурье-линзы и распространение структурированного лазерного пучка до её фокальной плоскости. Такая модель показывает хорошее соответствие между целевыми и рассчитанными интенсивностями (Рис. 1а, 1б). Для сравнения модели с экспериментальным результатом были сделаны фотографии структурированного пучка в фокусе линзы (Рис. 1в, 1г).

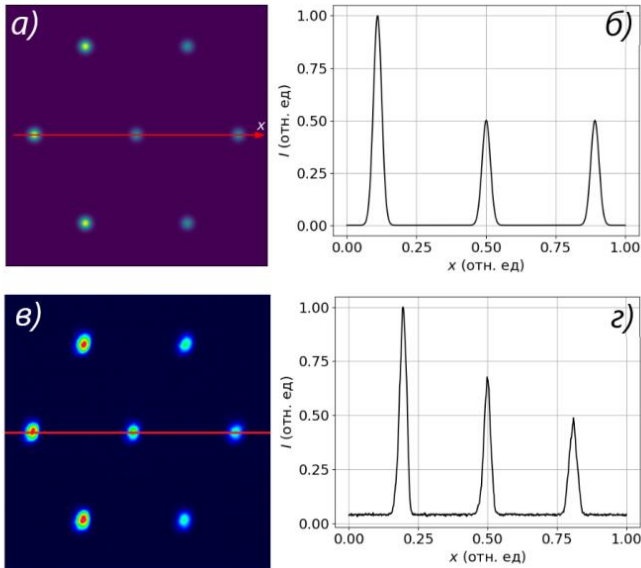


Рис 1. Интенсивность ярких пятен: а) вычисленное и в) экспериментальное распределение интенсивности в фокальной плоскости; б), г) интенсивность вдоль оси  $x$  (показана красным).

В результате работы продемонстрирована возможность управления мощностью вторичных пучков для контролируемого ввода излучения в многосердцевинное оптическое волокно.

## Литература

[1] Di Leonardo, R.; Ianni, F.; Ruocco, G. Computer generation of optimal holograms for optical trap arrays. *Opt. Express* 2007, 15, 1913–1922.

# Волоконный интерферометр Маха-Цендера на основе вставки из утоненного волокна для измерения показателя преломления

**Ризк Хиба<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет

<sup>2</sup>Институт автоматики и электрометрии СО РАН

\*E-mail: [hiba97rizk@gmail.com](mailto:hiba97rizk@gmail.com)

DOI:10.31868/OIT-2022-21-22

Данная работа посвящена разработке метода измерения показателя преломления окружающей среды с помощью искусственно утоненного волокна. Утонение волокна осуществляется с помощью сварочного аппарата Fujikura LZM-100 на основе CO<sub>2</sub>-лазера.

Принцип работы предлагаемой структуры основан на возбуждении мод высших порядков (Рис. 1). Из-за несоответствия между диаметром сердцевины SMF-28 и утоненного волокна часть энергий перекачивается в моду оболочки, соответственно, усиливается эванесцентное поле на поверхности волокна, что

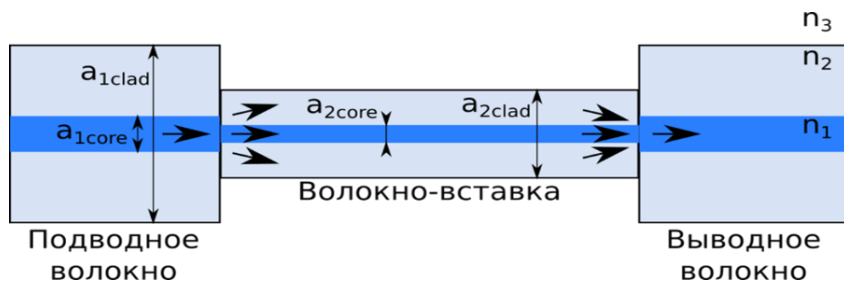


Рис. 1. Схема предлагаемого ИМЦ (интерферометр Маха-Цендера)

увеличивает взаимодействие света с окружающей средой, а сама высшая мода частично расположена вне волокна. Когда свет распространяется через второе соединение, моды оболочки снова переходят в основную моду сердцевины, образуя интерферометрическую картину из-за значительной разницы оптических путей [1, 2].

Было изготовлено восемь образцов разного диаметра и длины, измерены потери излучения в этих волокнах на длине волны 1550 нм (Таблица 1).

Спектры интерференции изготовленных датчиков были измерены оптическим анализатором спектра Yokogawa AQ6370 (Рис. 2).

Изготовленные образцы планируется использовать для измерения показателя преломления водных растворов глицерина разной концентрации.

Таблица. 1. Параметры изготовленных датчиков

Номер датчика	Диаметр датчика[мкм]	Длина датчика[мм]	Потери [дБ]
1	44.6	55	-5
2		95	-6.3
3		130	-6.3
4	37.9	55	-6
5		120	-13
6	31.25	55	-4.2
7		105	-11
8		125	-14

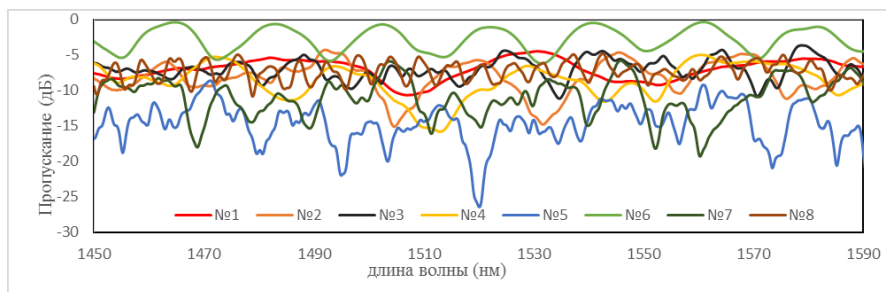


Рис. 2. Интерференционные спектры датчиков в соответствии с номерами датчиков в Таб. 1

## Литература

[1] Симонов В.А., Терентьев В.С. Интерферометр Маха-Цандера на основе утоненного волокна для измерения показателя преломления жидкости // Фотон-экспресс. 2021. Т. 6, № 174.

[2] F. Zh et al., “Sensitivity Enhanced Refractive Index Sensor With In-Line Fiber Mach-Zehnder Interferometer Based on Double-Peanut and Er-Doped Fiber Taper Structure,” Lightwave technology. - Т. 40. - №. 1, January 1, 2022

# Моделирование процессов в волоконном интерферометре Фабри-Перо

Д.П. Сокольчик\*, А.И. Шмырова, Р.С. Пономарёв, Д.И. Нурмухаметов

*Пермский государственный национальный исследовательский университет*

*\*E-mail: [dsokolchik@rambler.ru](mailto:dsokolchik@rambler.ru)*

DOI:10.31868/OIT-2022-23-24

Явление интерференции света лежит в основе различных высокочастотных датчиков и измерительных систем, например, в таких как волоконно-оптический интерферометр Фабри-Перо (ИФП), который обладает высокой чувствительностью при достаточно простой реализации [1]. Интерференция на таком интерферометре происходит между лучами, отражёнными частично отражающим сколом волокна с коэффициентами пропускания и отражения света  $t$  и  $r$  и внешним зеркалом, расположенном на расстоянии  $L$  от торца волокна. Интерферометр широко используется в оптической спектроскопии высокого разрешения, в лазерной технике, а также для определения фокусного расстояния линз, расположенных на торце оптического волокна (линзованное волокно) [2].

В настоящей работе в рамках геометрической оптики рассматривается интерференция гауссова пучка на ИФП, одно из зеркал которого образовано торцом плоско сколотого или линзованного волокна. В первом случае из-за расходимости вышедшего из волокна пучка после отражения на зеркале обратно возвращается лишь часть излучения. Получено, что с увеличением длины зазора  $L$  интенсивность вернувшегося излучения будет уменьшаться.

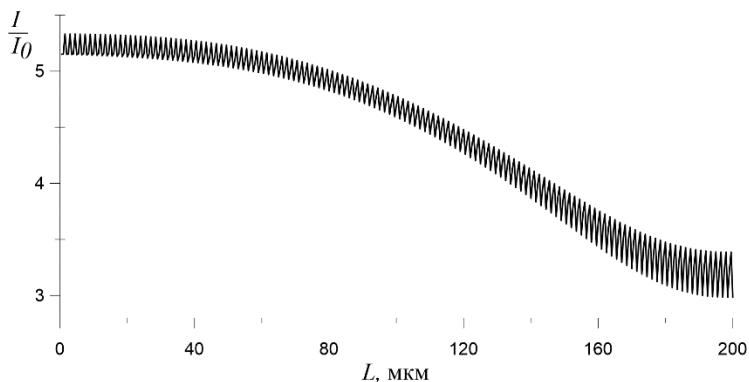


Рис. 1. Зависимость интенсивности излучения от длины зазора между линзованным торцом волокна и зеркалом.

Для моделирования линзованного волокна использовано приближение тонкой линзы. В приближении геометрической оптики пучок, вышедший из линзованного волокна, сфокусируется на некотором расстоянии от его торца. Предполагается, что при значении  $L$  меньше этого расстояния всё излучение вернётся в волокно. Полученный аналитически график зависимости интенсивности от величины зазора представлен на Рис. 1. Видно, что на расстоянии зазора меньше фокусного интенсивность не убывает.

В математическом пакете Comsol Multiphysics проведён численный расчет задачи с использованием модуля Electromagnetic waves, Frequency domain. Для оценки интегральной характеристики поля была рассчитана суммарная напряженность в области волокна, которая определялась исходя из периода распространения исходной волны  $\lambda_0 = 1.55$  мкм в сердцевине волокна:  $\lambda = \lambda_0/n = 1.019$  мкм, где  $n$  – показатель преломления волокна. Результаты, полученные для линзованного волокна, приведены на Рис.2. Видно, что график зависимости суммарной напряженности электрического поля  $E(L)$  хорошо коррелирует с зависимостью приведённой интенсивности  $I/I_0(L)$ . Сравнение результатов, полученных численно, показало хорошее согласование с результатами натурального эксперимента.

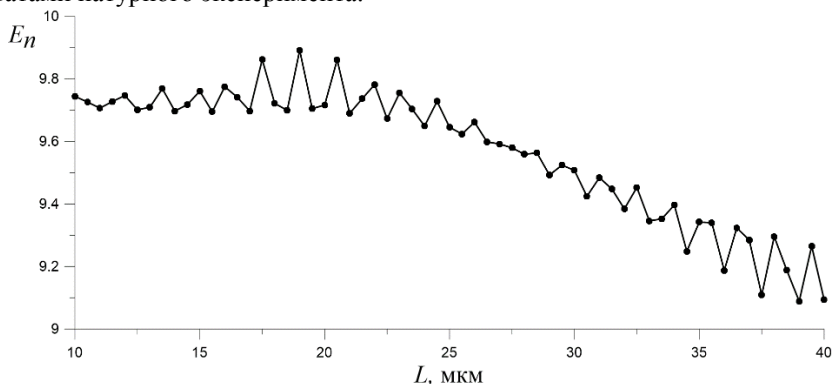


Рис. 2. Зависимость суммарной напряженности электрического поля (нормальная компонента) от длины зазора между линзованным торцом волокна и зеркалом (Comsol).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121101300016-2).

## Литература

- [6] И.К. Илев, Optics letters 20(6), 527-529 (1995)
- [7] П.В. Карнаушкин, Р.С. Пономарёв, Вестник Пермского университета. Серия: Физика 1(35), 54-64 (2017)



# Измерение хроматической дисперсии оптических волокон с использованием широкополосного фемтосекундного лазерного излучения и одноплечевого интерферометра

**А.А. Филонов<sup>1\*</sup>, Я.Г. Исаева<sup>1,2</sup>, В.С. Пивцов<sup>1,2</sup>, Н.А.Коляда<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт Лазерной физики СО РАН*

<sup>2</sup> *Новосибирский государственный технический университет*

<sup>3</sup> *Институт автоматизи и электрометрии СО РАН*

\*E-mail: [aa.filonov@mail.ru](mailto:aa.filonov@mail.ru)

DOI:10.31868/OIT-2022-25-26

При проектировании и создании волоконных систем учитываются различные характеристики оптических волоконных компонент. Одной из важнейших характеристик является величина хроматической дисперсии, которая влияет на временной профиль импульсного лазерного излучения. При этом производители волокон не всегда указывают величину хроматической дисперсии, либо приводится широкий диапазон возможных значений.

В данной работе реализована схема трехволнового одноплечевого интерферометра [1]. В отличие от предыдущих работ, в качестве источника излучения использовалось широкополосное фемтосекундное лазерное излучение с выхода волоконного фемтосекундного синтезатора частот (ВФСЧ) (рис.1) [2]. Межмодовая частота ВФСЧ 82,6 МГц, используемый диапазон длин волн 1400-1650 нм. Преимуществами данного подхода является высокая точность, скорость и простота определения хроматической дисперсии волокон короткой длины (единицы метров).

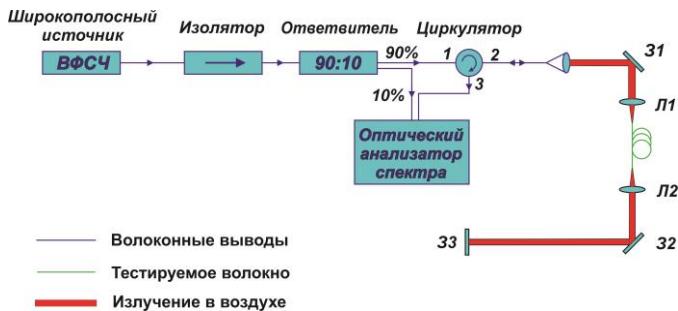


Рис. 1. Схема реализованного одноплечевого трехволнового интерферометра

Интерференционная картина на выходе измерительной схемы (3-й выход циркулятора) образуется за счет сложения отраженного излучения ВФСЧ от двух торцов волокна (прямой скол) и излучения, отраженного от зеркала.

В качестве тестируемого волокна использовалось стандартное телекоммуникационное волокно SMF-28. Длина тестируемого волокна и воздушного промежутка от волокна до зеркала подбиралась таким образом, чтобы три последовательных импульса совместились по времени. При перемещении зеркала  $33$  изменялась длина волны лазерного излучения, для которого оптические длины тестового волокна и воздушного пути совпадают. По интерференционным картинам на данных длинах волн была рассчитана хроматическая дисперсия.

На Рис. 2 показана удельная хроматическая дисперсия, рассчитанная из экспериментальных данных в сравнении с теоретическими значениями [3]. Среднеквадратичное отклонение дисперсии составило  $4,5$  пс/(нм $\cdot$ км). В дальнейшем планируется оптимизация системы для увеличения точности определения хроматической дисперсии.

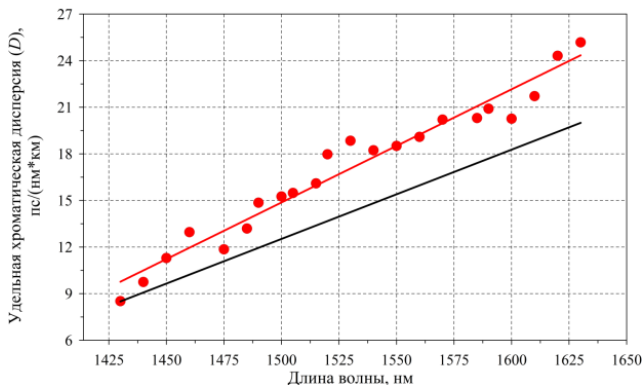


Рис. 2. Красные точки - удельная хроматическая дисперсия, полученная для тестового волокна SMF28; черная линия — теоретические значения [3, С. 18].

Работа выполнена при частичной поддержке государственного задания с регистрационным номером НИОКР 121033100064-9 с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Фемтосекундный лазерный комплекс» на базе ИЛФ СО РАН.

## Литература

- [1] M.A. Galle, M. Waleed, et al, Optic Express 15, 16896-16908 (2007).
- [2] N.A. Koliada, V.S. Pivtsov, et al, Laser Physics Letters 19, 015102 (2022)
- [3] Г. Агравал, Нелинейная волоконная оптика. (1996).

# Определение фокусного расстояния на интерферометре Фабри-Перо линзованного волокна, изготовленного методом полировки, травления, оплавления

**А.И. Шмырова\*, А.С. Паньков, А.Р. Корнилицын, Р.С. Пономарёв**

*Пермский государственный национальный исследовательский университет*

*\*E-mail: [shmyrova@psu.ru](mailto:shmyrova@psu.ru)*

DOI:10.31868/OIT-2022-27-28

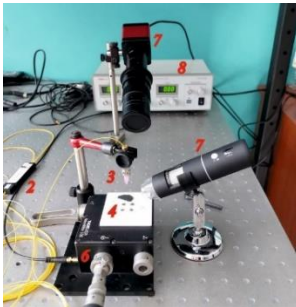
Волоконные световоды с микролинзами на торце, называемые также линзованными волокнами, широко применяются в интегральной и волоконной оптике для повышения эффективности ввода/вывода излучения [1], а также в приложениях, где требуются точечные источники оптического излучения. При этом форма линзы играет большую роль в эффективности аккомодации излучения. Теоретически можно собрать почти 100% лазерного излучения при работе с линзами асферической формы [2]. Микролинзы гиперболической формы продемонстрировали эффективность введения излучения до 90% (потери на ввод излучения 0.45 дБ) [3] в то время как линзы полусферической формы были эффективны лишь на 50% [4].

В настоящей работе описаны технологии создания оптических микролинз на торце волоконного световода методом полировки, травления, электродугового оплавления, которые позволяют получить линзы различной геометрии. Для оценки качества линз в работе были проведены наблюдения за формой светового пятна, выходящего из линзованного волокна. Эксперименты продемонстрировали, что наилучшую аккомодацию света осуществляют линзы, полученные методом электродугового оплавления.

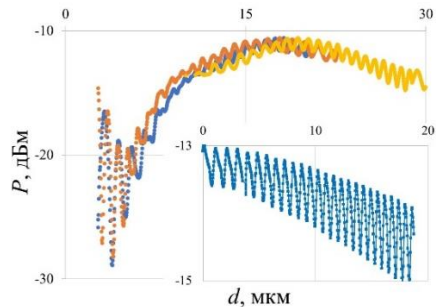
Также в работе проведены эксперименты по определению фокусного расстояния линзованных волокон с помощью оптического интерферометра Фабри–Перо (Рис. 1а). При работе излучение, генерируемое лазером 1 с длиной волны 1.55 мкм, проходя циркулятор 2, попадало в волокно 3. Эта часть излучения, представляя собой предметный луч интерферометра, направлялась на зеркальную поверхность 4. Далее луч, отражаясь от зеркальной поверхности 4, возвращался в оптоволокно и перенаправлялся оптическим циркулятором 2 в измеритель оптической мощности 5. Второй луч – опорный, направлялся непосредственно в измеритель мощности без искажения. Взаимное расположение оптоволокна относительно зеркальной поверхности варьировалось с помощью моторизованной подвижки 6. С помощью измерителя мощности проводилась регистрация сигнала  $P$  в зависимости от положения волокна относительно зеркальной поверхности  $d$ .

На первом этапе были проведены эксперименты с оптическим волокном, торец которого был сколот под углом 90 градусов. На Рис. 1б приведен график детектируемой мощности излучения в зависимости от расстояния между торцом

волокна и зеркальной поверхностью – монотонно убывающий интерференционный сигнал, амплитуда которого растет при отдалении зеркала от торца волокна.



а



б

Рис. 1. а) Фото волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо, б) Интерференционный сигнал линзованного (парабола) и прямо сколотого (монотонно убывающая функция) волокна

На втором этапе исследования были проведены эксперименты с линзованным волокном. На Рис. 1б приведен характерный график детектируемой мощности излучения от расстояния между волокном и зеркальной поверхностью для трех различных циклов движения. Видно, что в результате переотражения луча от зеркала и торцом линзованного волокна наблюдается интерференционный сигнал параболической формы, вершина которого соответствует фокусному расстоянию линзы.

В работе был также проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных данных с результатами решения задачи численно в программном пакете Comsol Multiphysics, который показал хорошее согласование результатов.

Таким образом экспериментальные исследования позволяют провести сравнительный анализ качества изготавливаемых линзованных волокон и дать рекомендации по усовершенствованию методов их производства.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121101300016-2).

## Литература

- [1] В. Ounnas, B. Sauviac, et al, IEEE Transactions on Antennas and Propagation 63(12), 5612-5618 (2015)
- [2] Н. Mandal, S. Maiti, et al, Optik 168, 533-540 (2018)
- [3] C.A. Edwards, H.M. Presby, et al, J. Lightwave Technol. 11, 252-257 (1993)
- [4] Н.М. Yang, С.Т. Chen, et al, Optics & Laser Technology 42(6), 918-926 (2010)

**Секция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

# Характеризация однородного шара по картине светорассеяния с использованием нейросетей

**М.М. Ульянова<sup>1\*</sup>, А.В. Романов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт химии кинетики и горения им. Воеводского СО РАН*

<sup>2</sup> *Новосибирский государственный университет*

\*E-mail: [m.ulyanova@g.nsu.ru](mailto:m.ulyanova@g.nsu.ru)

DOI:10.31868/OIT-2022-30

Обратная задача светорассеяния встречается в разных областях физики. Для ее решения предложено множество методов имеющих как преимущества, так и недостатки [1]. Ранее предложен метод решения с помощью машинного обучения [2]. Однако с тех пор метод глубокого обучения стал более развит и усложнен, поэтому интересно рассмотреть его как новый способ решения задачи.

Целью данной работы является выявление возможности характеристики шара без поглощения по его картине светорассеяния, разрешенной по углу, используя нейронные сети, а именно определить два параметра – размер и показатель преломления.

В ходе решения задачи предложены две основные архитектуры сетей – полносвязная и сверточная, число параметров которых подобранно примерно одинаковым. Предполагается, что сверточные слои устойчивы к экспериментальному шуму, а полносвязные являются наиболее распространёнными и простыми для создания нелинейной модели. В качестве нелинейности использовались разные функции активации. После сравнения двух архитектур выбрана наилучшая – сверточная. Для нее сравнивались эффективные размеры обучающей выборки.

Предсказание нейронной сети сравнено с методом DiRect оптимизации для нескольких видов частиц (полистирольных шаров, шариков молочного жира, сферизованных эритроцитов). Построены корреляционные диаграммы между ошибкой допустимой методом подгонки и отклонением предсказания сети от метода подгонки и рассчитано квадратичное отклонение между соответствующими картинками светорассеяния. Сравнение показало, что метод глубокого обучения на порядок уступает в точности методу DiRect оптимизации, но требует значительно меньшее время на расчеты.

## Литература

- [1] A. V. Romanov and M. A. Yurkin, “Single-particle characterization by elastic light scattering,” *Laser & Photon. Rev.*, vol. 15, p. 2000368, 2021.
- [2] V. V. Berdnik, R. D. Mukhamedyarov, and V. A. Loiko, “Application of the neural network method for determining the characteristics of homogeneous spherical particles,” *Opt. Spectrosc.*, vol. 96, no. 2, pp. 285–291, Mar. 2004.

**Информация о конференции:** <https://vk.com/potcon>