

УДК 535.9

## Исследование спектральных коэффициентов преломления и поглощения конденсированных сред полимерного ряда в коротковолновой области спектра в вакууме

С. Н. Иванов, Е. Ю. Локтионов, Ю. Ю. Протасов

*Представлены результаты экспериментального определения и анализа спектральных коэффициентов поглощения и преломления полимерных материалов в коротковолновом диапазоне спектра при температурах 77 и 298 К в вакууме, выполненного на курчатовском источнике синхротронного излучения "Сибирь-1" с использованием разработанных оптико-диагностического модуля и методики ВУФ-спектрометрии.*

PACS: 07.60.Hv; 41.60.Ap; 78.20.Ci

*Ключевые слова:* оптические константы, полимеры, оптико-диагностический модуль, синхротронное излучение.

### Введение

В настоящее время основными методами изучения транспортных свойств и электронной структуры конструкционных материалов фотонных энергоустановок являются оптические методы исследования, сутью которых является определение оптических констант из измеренных спектральных зависимостей коэффициентов поглощения, отражения или пропускания. Наиболее информативны такие измерения в вакуумной ультрафиолетовой (ВУФ)-области спектра, поскольку именно в этой области наблюдается резкая структура зависимости оптических характеристик конденсированных сред от энергии фотонов зондирующего излучения и проявляются коллективные возбуждения [1].

Легкоаблирующие диэлектрики на основе элементов полимерного ряда (С, N, O, F, H) являются важным классом конструкционных материалов для плазменных и фотонных энергетических установок с высокой плотностью мощности. Эти конденсированные среды, как и материалы со специальными оптическими и теплофизическими свойствами, находятся в условиях интенсивных луче-

вых, ударно-волновых и тепловых нагрузок. Поэтому изучение их оптических характеристик (в том числе — эмиссионных и абсорбционных) в широком диапазоне энергий квантов ( $h\nu \sim 10^{-1}—10^2$  эВ) и температур, а также их динамики в условиях многофакторного радиационно-газодинамического воздействия является необходимым как для количественного описания процессов фазовых переходов на контактной границе "твердое тело—газ—плазма", так и при осуществлении всех циклов разработок и инженерной оптимизации фотонных энергогенерирующих и энергопреобразующих установок, использующих явление светозероэрозии и лазерной абляции [2].

В фотонных энергоустановках с высокой плотностью мощности (оптические ускорители и плазмотроны, плазменно-лазерные инжекторы, термоэмиссионные плазменно-оптические преобразователи и т. п.) плазменные активные среды, в том числе и светозероэрозийные ( $T_e \sim 1—5$  эВ), являются источником широкополосного коротковолнового излучения с максимальными интенсивностями в ультрафиолетовой (УФ) и ВУФ-областях спектра [3]. При этом температура конструкционных элементов таких энергоустановок в цикле различных импульсно-периодических режимов может изменяться от криогенных до температур фазовых переходов. Поэтому для расчета характеристик тепло- и массообмена здесь необходимы данные по спектральным коэффициентам отражения и поглощения, квантовому выходу люминесценции (и их динамике) конструкционных материалов в УФ- и ВУФ-областях спектра в широком диапазоне температур с учетом технологически достижимого уровня обработки поверхности [4].

---

**Иванов Сергей Николаевич**, главный специалист.  
Курчатовский центр синхротронного излучения  
и нанотехнологий.

Россия, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1.  
Тел. 8 (499) 196-90-17.

**Локтионов Егор Юрьевич**, аспирант.

**Протасов Юрий Юрьевич**, профессор.  
МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5.  
Тел. 8 (499) 263-62-99. E-mail: stcpe@bmstu.ru

Статья поступила в редакцию 20 мая 2010 г.

Измерение спектральных коэффициентов отражения и поглощения в УФ-, ВУФ-областях спектра представляет собой значительную экспериментальную сложность, во-первых, из-за отсутствия достаточно ярких (не менее 1 мкВт/мрад<sup>2</sup>·нм) и широкополосных источников излучения в этой области спектра, во-вторых, из-за необходимости проведения прецизионных измерений в вакууме [5].

Синхротронное излучение (СИ), обладая высокой интенсивностью, поляризацией и непрерывным спектром в широком диапазоне длин волн, является для таких измерений практически идеальным и позволяет получать экспериментальные оптические данные, которые с традиционными газоразрядными источниками зондирующего излучения получить крайне сложно, а в ряде случаев и невозможно.

Ниже кратко описан разработанный оптико-диагностический модуль и методика ВУФ-спектрометрии для источника синхротронного излучения на электронном накопителе "Сибирь-1", а также представлены результаты экспериментального определения спектральных коэффициентов отражения и поглощения полимерных материалов в коротковолновом диапазоне спектра — диапазоне энергий квантов зондирующего излучения  $h\nu \sim 3,5\text{—}10$  эВ на курчатовском источнике синхротронного излучения при допороговых для развитого поверхностного испарения значениях плотности мощности зондирующего излучения

( $I_0 \sim 10^{12}$  фотон/см<sup>2</sup>·с) и температурах поверхности конденсированных мишеней 300—77 К.

### Описание экспериментального оптико-диагностического модуля

Оптическая схема специализированного курчатовского синхротронного источника ВУФ-излучения на основе электронного накопителя "Сибирь-1" описана в [6]. Для обеспечения оптимальных условий транспортировки коротковолнового УФ-, ВУФ-излучения в канале диагностического модуля и уменьшения окисления поверхности дифракционных решеток монохроматора рабочий объем разработанного диагностического модуля вакуумируется (рис. 1). Необходимость непосредственного соединения с рабочей полостью ускорительно-накопительного кольца "Сибирь-1" определяет глубину разрежения не хуже  $10^{-8}$  мбар. Особое внимание при разработке вакуумной системы уделяется исключению возможности загрязнения оптических элементов модуля парами масла. Для уменьшения времени вакуумирования диагностического модуля после замены исследуемого образца применен специальный порт загрузки, минимальный необходимый объем которого на время разгерметизации изолируется от всех остальных трактов диагностического модуля.

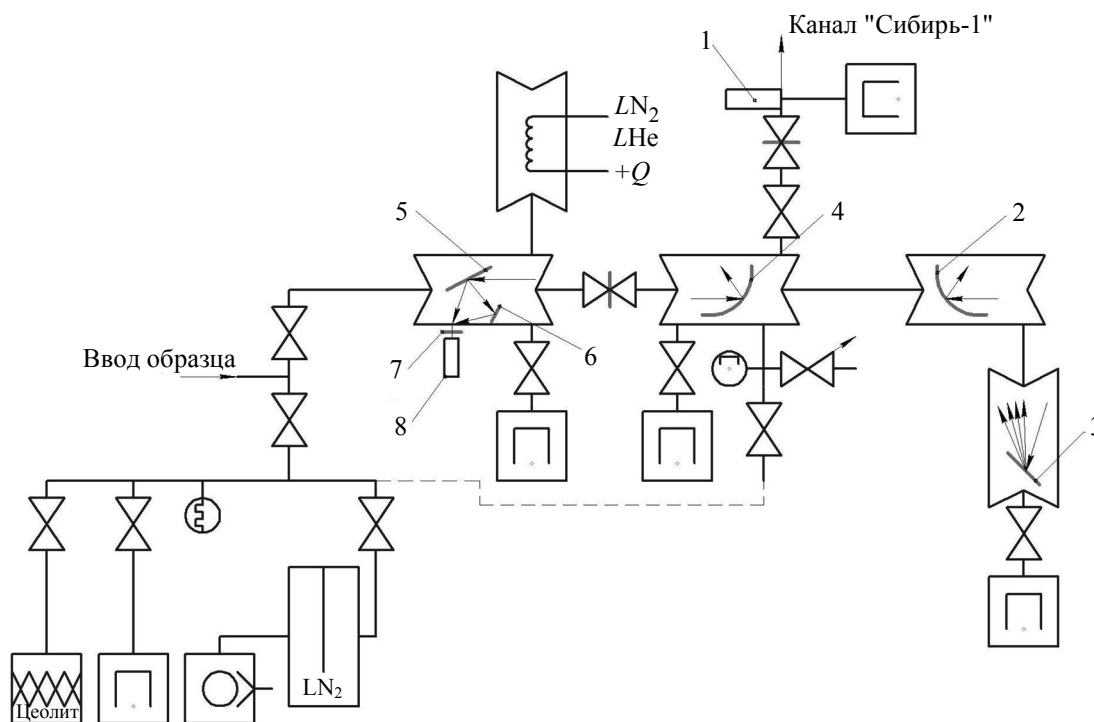


Рис. 1. Вакуумная схема экспериментальной установки для измерения спектральных коэффициентов отражения и пропускания:

- 1 — ФЭУ регистрации опорного сигнала; 2 — зеркало фокусировки на дифракционную решетку;
- 3 — дифракционная решетка; 4 — зеркало фокусировки на мишень; 5 — мишень; 6 — люминофор;
- 7 — сменный фильтр из цветного стекла; 8 — ФЭУ регистрации измеряемого сигнала

В диагностическом модуле расположен монохроматор нормального падения, собранный по схеме Водсворта с вертикальной плоскостью дисперсии с горизонтальной щелью. Такой выбор щели монохроматора обусловлен свойствами СИ: фиксированное положение источника излучения; размеры источника СИ —  $3 \times 0,3$  мм, что обеспечивает более высокое разрешение монохроматора; интенсивность излучения в плоскости орбиты составляет  $7/8$  общей интенсивности излучения и обладает высокой линейной поляризацией. Излучение накопителя направляется на вогнутую сферическую дифракционную решетку с вольфрамовым покрытием (радиус кривизны 1 м,  $V = 600$  штрих/мм, рабочая поверхность  $50 \times 40$  мм, максимум концентрации энергии в спектре около  $\lambda = 60$  нм).

Монохроматор диагностического модуля рассчитан для работы в спектральной области от 3,5 до 35 эВ. Диафрагмированное излучение фокусируется на выходной щели, за которой установлен азотный криостат. Расстояние от излучающего сгустка электронов до дифракционной решетки  $\sim 10$  м. Угол между направлениями падающего и отражающего излучения составляет  $\sim 10^\circ$ . Сканирование по спектру осуществляется через электромеханический привод шаговым двигателем, поворачивающим решетку с большой точностью (погрешность  $\sim 0,02$  нм/шаг) вокруг оси, проходящей через центр решетки и параллельной плоскости орбиты.

Использование электромеханических схем с поворотом решетки вокруг оси уменьшает разрешающую способность подобных монохроматоров из-за дефокусировки излучения на выходной щели. Для компенсации дефокусировки на краях рабочей спектральной области 250—35 нм в монохроматоре диагностического модуля предусмотрено перемещение выходной щели вдоль оптической оси прибора на расстояние  $\pm 2,5$  мм относительно фокальной плоскости для  $\lambda = 100$  нм. Из рассчитанной фокальной кривой монохроматора при расстоянии от точки излучения до дифракционной решетки 10 м, следует, что дефокусировка не превышает 3 мм при сканировании спектра от 35 до 250 нм и позволяет получить разрешение 0,1 нм. Поворот решетки на  $1^\circ$  приводит к изменению длины волны на выходной щели монохроматора на 30 нм, при этом это значение сохраняется для всей рабочей ВУФ-области.

Для устранения высших порядков дифракции перед выходной щелью вводились полосовые фильтры из кварцевого стекла ( $\text{SiO}_2$ ) (интервал  $\lambda > 180$  нм) и фторида магния ( $\text{MgF}_2$ ) ( $\lambda = 115$ —200 нм); градуировку прибора по длинам волн осуществляли с помощью уравнения решетки. Проверка градуировки и разрешающей способности проводилась по линиям поглощения различных инертных газов при  $\lambda > 115$  нм при напуске газа в криостат, отде-

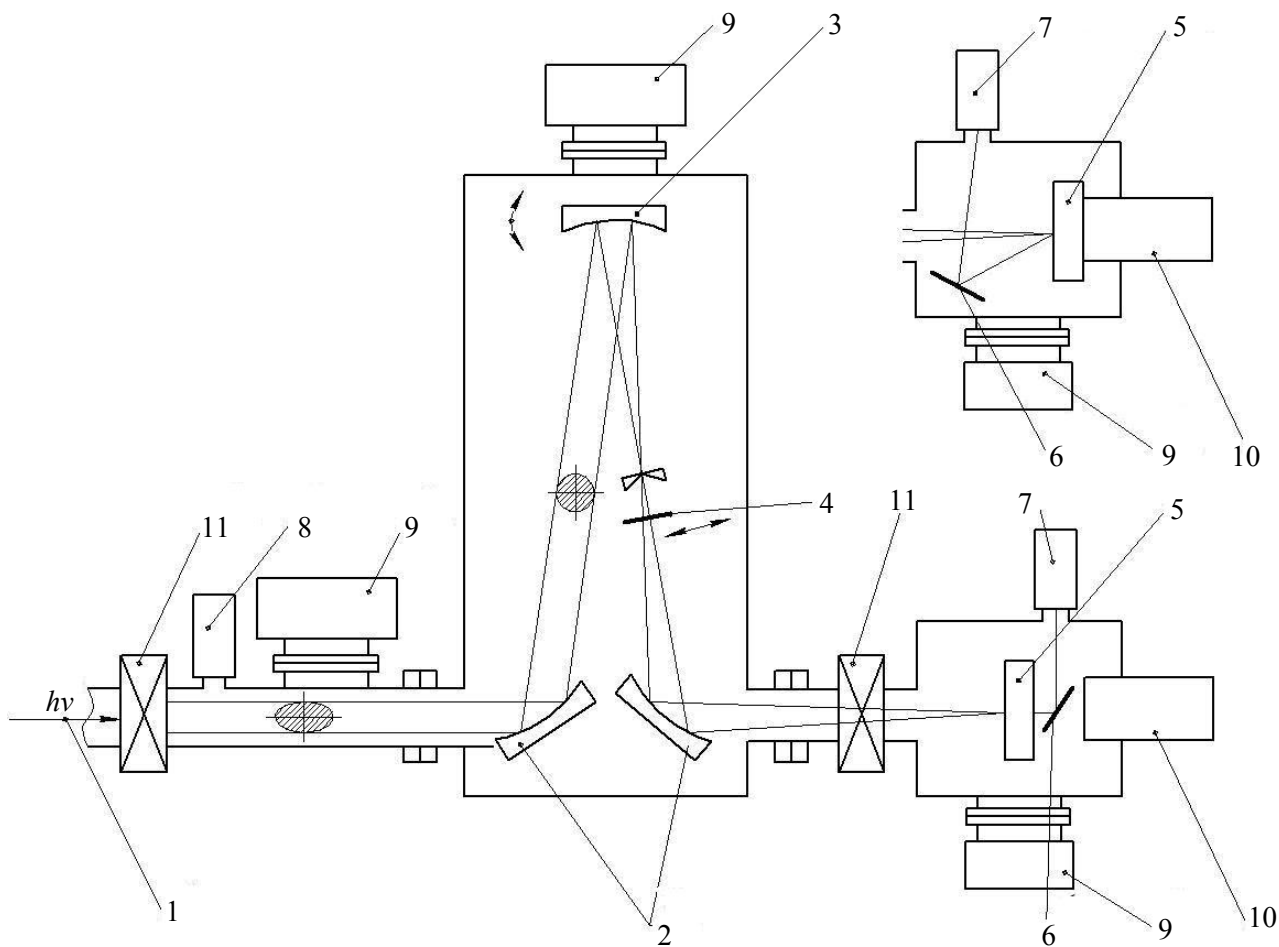
ленный от вакуума в канале окном из кристалла  $\text{MgF}_2$ . Специализированный азотный криостат, установленный за выходной щелью монохроматора, позволяет измерять спектры пропускания, отражения и возбуждения люминесценции в интервале температур 80—295 К.

Регистрация излучения, отраженного от облучаемой конденсированной мишени или пропущенного через нее, производилась фотоэлектронным умножителем ФЭУ-100, перед фотокатодом которого были установлены сменные оптические фильтры (рис. 2). Так как ширина выходной щели монохроматора при сканировании по спектру не меняется, то интенсивность падающего на исследуемый образец излучения в рабочей спектральной области изменялась примерно на порядок. Максимум спектра за выходной щелью монохроматора приходится на область порядка 60 нм, при этом поток фотонов в спектральном интервале  $\Delta\lambda \sim 1$  нм при  $\lambda \sim 100$  нм ( $h\nu \sim 12,4$  эВ) на образец составляет  $\sim 10^{10}$  фотон/с [6].

Диагностический модуль оборудован автоматизированной системой управления и регистрации данных на базе ПК; связь между экспериментальным модулем и ПК осуществляется с помощью аппаратуры в стандарте КАМАК. Измеренные спектры поглощения и отражения обрабатывались с помощью специальных программ, которые позволяют учитывать рассеянное излучение, спектрально-энергетическую калибровку и градуировку монохроматора.

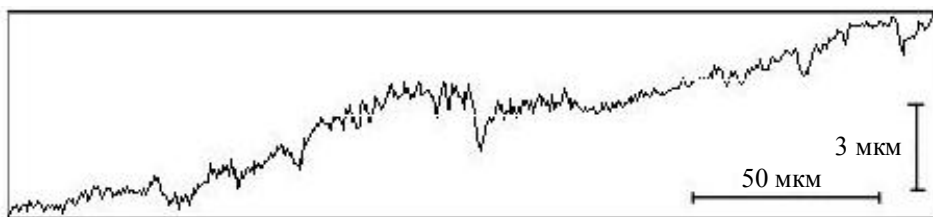
Порядок проведения измерений. Для исследования легкооблизирующих полимерных диэлектриков — фторопласт-4 (ПТФЭ, Teflon®,  $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$ ) и полиформальдегид (ПОМ, Delrin®,  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ ) были использованы микротомные срезы с поверхности массивных образцов, выполненные на ротационном микротоме (Cut 4055, Slee Mainz), толщиной 5—7 мкм, которая контролируется с помощью профилометра (рис. 3).

Перед началом измерительного цикла проводилась настройка монохроматора для работы в штатном режиме, обеспечивающем правильное определение спектральных характеристик излучения на выходе по положению штока шагового двигателя, управляющего поворотом дифракционной решетки. Для этого осуществлялось сканирование спектра в диапазоне 450—550 шагов, и найденное значение шага для нулевого порядка отражения решетки устанавливалось на значение 500. Далее при облучении спектром нулевого порядка отражения, образец ориентировался таким образом, чтобы отраженное излучение попадало на люминофор, контроль установки мишени производился визуально, поэтому для обеспечения безопасности оператора на выходе монохроматора устанавливался кварцевый фильтр, отрезающий поток высокоэнергетических квантов.

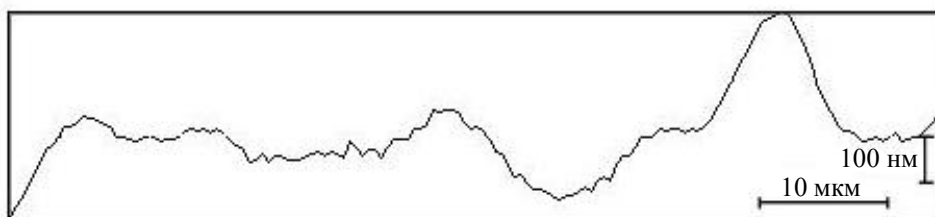


**Рис. 2. Схема измерения спектральных коэффициентов пропускания:**

- 1 — канал ввода синхротронного излучения; 2 — поворотные и фокусирующие тороидальные зеркала; 3 — дифракционная решетка; 4 — сменный фильтр из SiO<sub>2</sub> или MgF<sub>2</sub>; 5 — мишень; 6 — люминесцентная пластинка из салицилата натрия; 7 — ФЭУ регистрации пропущенного сигнала; 8 — ФЭУ регистрации опорного сигнала; 9 — магниторазрядные вакуумные насосы; 10 — криостат; 11 — отсечные клапаны



*a*



*б*

**Рис. 3. Профилограммы поверхности мишеней:**

- a* — (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>; *б* — (C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>)<sub>n</sub>

В разработанной схеме измерения спектров поглощения (см. рис. 2) излучение, отраженное от поверхности мишени или пропущенное через нее, попадает на пластину из салицилата натрия ( $C_7H_5NaO_3$ ), закрепленную на стенке вакуумной камеры. Салицилат натрия выбран в качестве эталонного материала, так как в исследуемом спектральном диапазоне ( $h\nu \sim 3,5\text{—}25$  эВ) имеет постоянный квантовый выход люминесценции  $\eta \sim 0,6$  [7]. Поэтому поток фотонов от люминесцирующего кристалла салицилата натрия используется не только для измерения отраженного сигнала, но и для регистрации распределения спектральной плотности мощности потока излучения, падающего на мишень после прохождения монохроматора. Интенсивность люминесценции салицилата натрия (максимум на  $\lambda = 410$  нм) регистрируется ФЭУ-100, перед которым установлены однолинзовый объектив и оптический фильтр СС-5, пропускающий излучение в диапазоне  $\lambda = 390\text{—}460$  нм. Сигнал от ФЭУ, преобразованный аналогово-цифровым преобразователем (динамический диапазон 12 бит), усреднялся по результатам 30 измерений. Во входном тракте ВУФ-монохроматора установлен ФЭУ, характеризующий величину тока электронов в канале ускорителя. Результаты измерений спектров как отражения, так и пропускания нормировались на этот опорный сигнал.

### Экспериментальные результаты

Корректно рассчитываемые спектрально-энергетические характеристики потока синхротронного излучения [8] позволяют использовать его в качестве эталонного источника для калибровки вторичных стандартов спектральной яркости (газоразрядные лампы, рентгеновские трубки), в области вакуумного ультрафиолетового и рентгеновского излучения. В [9] показана зависимость деградации салицилата натрия под действием ВУФ-излучения, влияющая и на интенсивность его люминесценции. При измерении спектра отражения регистрируется интенсивность люминесценции пластинки салицилата натрия, закрепленной на стенке вакуумной камеры, калибровка сигнала и пересчет полученных данных осуществляются при регистрации спектра люминесценции другого образца салицилата натрия, временно помещаемого в диагностическую камеру. Это вносит дополнительную погрешность, связанную с различием суммарной экспозиционной дозы ВУФ-излучения, полученной этими образцами салицилата натрия. Дополнительной метрологической задачей является обеспечение соответствия участка спектра на выходе монохроматора расчетному значению. При обработке экспериментальных данных

энергия кванта, падающего на мишень излучения, определяется исходя из угла поворота дифракционной решетки. Однако при таком подходе не известны ни ширина выделяемого спектрального интервала (принимается в пределах  $\Delta h\nu \sim 0,05$  эВ), ни центральная длина волны излучения, ни наличие в пучке излучения от высоких порядков отражения дифракционной решетки (что становится особенно актуальным при энергиях квантов свыше 15 эВ). Все это затрудняет интерпретацию полученных результатов.

Для определения линейного коэффициента поглощения измерялись спектральные коэффициенты отражения, пропускания и толщина исследуемого образца. Следует отметить, что результаты измерений спектральных коэффициентов поглощения на разработанном диагностическом модуле находятся в хорошем согласии с измерениями для тех же образцов полимерных материалов в отдельных спектральных интервалах УФ-диапазона ( $\lambda = 190\text{—}355$  нм), полученными при температуре 300 К методами УФ- и акустооптической спектрофотометрии. В температурной области  $T \sim 77$  К регистрируется незначительный ( $\sim 10\%$ ) разброс значений коэффициентов  $R(\lambda)$  в ВУФ-области спектра, что требует статистического анализа инструментальной погрешности в каждом спектральном интервале и дальнейшего развития данной экспериментальной технологии изучения спектрально-энергетических зависимостей  $R(\lambda, T, I_0)$  с использованием вторичных метрологических эталонов в сверхвысоком вакууме.

Погрешность измерения спектральных коэффициентов отражения в диапазоне длин волн  $\lambda \sim 400\text{—}1100$  нм составляет  $\Delta R \sim \pm(0,025 + 0,05 R)$  (где  $R$  — регистрируемая величина) при абсолютной погрешности определения длины волны зондирующего излучения  $\Delta \lambda \sim \pm 0,4$  нм. В диапазоне энергий квантов  $h\nu \sim 3,5\text{—}25$  эВ погрешность составляет  $\Delta R \sim \pm(0,03 + 0,075 R)$  при абсолютной погрешности определения энергии квантов зондирующего излучения  $\Delta h\nu \sim 0,05$  эВ. Относительная погрешность измерения спектральных коэффициентов пропускания в диапазоне длин волн  $\lambda \sim 190\text{—}1100$  нм составляет  $\Delta T/T \sim \pm 1,2\%$  при абсолютной погрешности определения длины волны зондирующего излучения  $\Delta \lambda \sim \pm 0,4$  нм (учитывая относительную погрешность измерения толщины исследуемой пленки  $\Delta \delta/\delta \sim \pm 2\%$ , относительная погрешность определения линейного коэффициента поглощения составляет  $\Delta \alpha/\alpha \sim \pm 3\%$ ). В диапазоне энергий квантов зондирующего излучения  $h\nu \sim 3,5\text{—}25$  эВ относительная погрешность определения линейного коэффициента поглощения составляет  $\Delta \alpha/\alpha \sim \pm 5\%$  при абсолютной погреш-

ности определения энергии квантов зондирующего излучения  $\Delta h\nu \sim 0,05$  эВ.

Как известно [10], для определения оптических характеристик конденсированных сред (показателей преломления  $n$  и поглощения  $k$ ) с использованием соотношения Крамерса—Кронига [11] необходимо проведение двух измерений коэффициента отражения, а именно, либо при двух разных углах падения (предпочтительно, один угол должен быть больше угла Брюстера, другой — меньше), либо при одном угле падения, но разных углах поляризации излучения.

Для отражения полимерных материалов существует ряд особенностей, связанных со структурой исследуемого образца (длина и взаимное расположение макромолекулярных цепей). Для уменьшения этих эффектов желательно проводить измерения при минимальных углах падения. Так, при скользком падении и регистрации в интегри-

рующей сфере спектральные коэффициенты отражения  $(C_2F_4)_n$  в видимом и БИК-диапазоне составляют  $R \sim 0,96—0,97$  [12]. Однако расчет по соотношениям Крамерса—Кронига, выполненный исходя из известных оптических констант [7], дает отражательную способность  $R \sim 0,03$ .

В [13] оптические константы  $(CH_2O)_n$  в ИК-диапазоне определены в результате измерения спектральных коэффициентов отражения и пропускания полимерных пленок. Нами использована аналогичная методика. Линейный коэффициент поглощения  $\alpha$  (т. е. величина, обратная оптическому пути в среде, на котором интенсивность излучения ослабляется в  $e$  раз) рассчитан в соответствии с законом Ламберта—Бугера—Бера [14], для этого измерены спектральные коэффициенты отражения  $R$ , пропускания  $T$  и толщина исследуемого образца  $\delta$  (рис. 4).

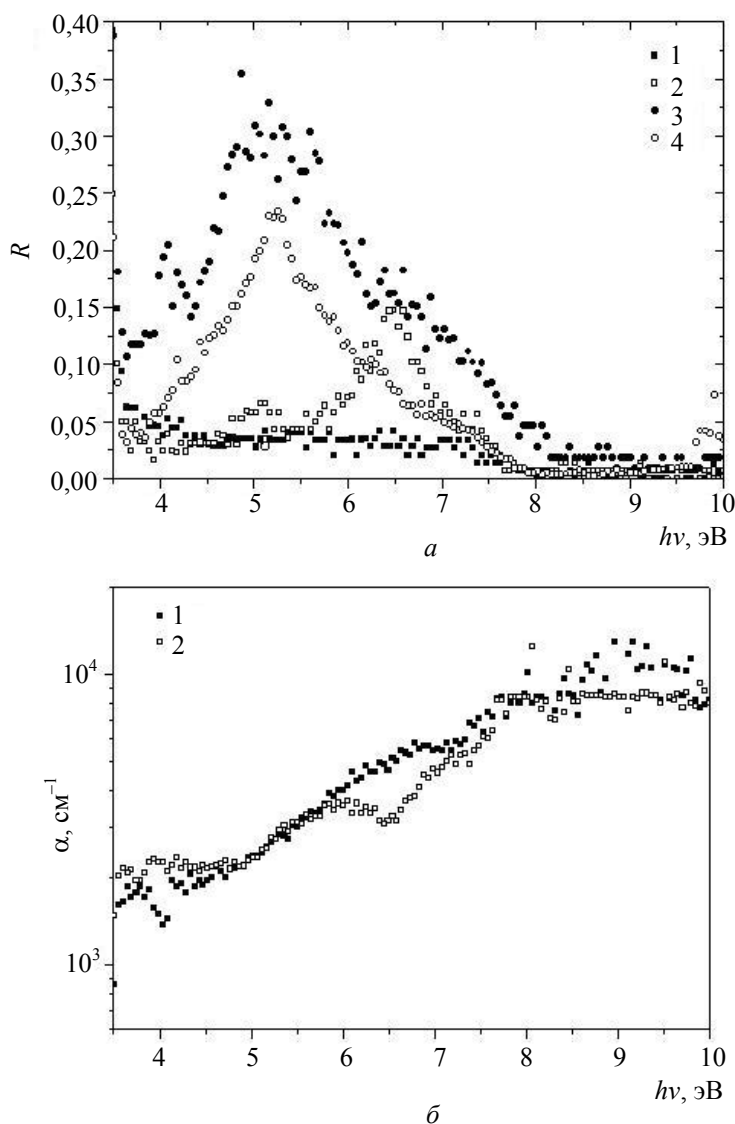


Рис. 4. Зависимости спектрального коэффициента отражения от энергии фотона (а) и линейного коэффициента поглощения от энергии фотона (б): 1— $(C_2F_4)_n$ ,  $T \sim 298$  К; 2— $(C_2F_4)_n$ ,  $T \sim 77$  К; 3— $(CH_2O)_n$ ,  $T \sim 298$  К; 4— $(CH_2O)_n$ ,  $T \sim 77$  К

Сравнительный анализ спектральных коэффициентов отражения в УФ-области спектра ( $h\nu \sim 4\text{—}6$  эВ) показывает их удовлетворительное соответствие частотным зависимостям  $R(\lambda)$ , полученным с использованием газоразрядных источников зондирующего излучения в аналогичных экспериментальных условиях [12]. Спектральные коэффициенты отражения  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  мишени в области спектра  $h\nu \sim 5\text{—}6$  эВ составляют  $R(\lambda) \sim 34\text{—}35\%$  (см. рис. 4, а), и с увеличением энергии фотонов уменьшаются, имея плато в области энергии квантов  $h\nu \sim 8\text{—}10$  эВ.

На рис. 5 представлены результаты определения оптических констант  $n$  и  $k$  для мишени из  $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$  при разных температурах.

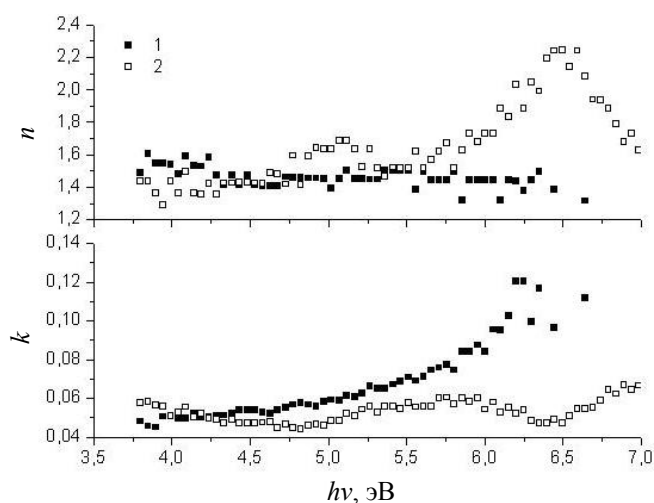


Рис. 5. Оптические константы  $n$  и  $k$  для  $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$ -мишени: 1 —  $T \sim 298$  К; 2 —  $T \sim 77$  К

Полученные результаты могут быть также использованы для определения оптической ширины запрещенной зоны по положению пиков отражения: для  $(\text{CH}_2\text{O})_n$  — мишени  $E_g^{\text{opt}} \sim 5,25$  эВ (получено впервые), для  $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$  —  $E_g^{\text{opt}} \sim 6,5$  эВ (в [15] методами спектроскопии вторичных электронов получено значение  $E_g \sim 6$  эВ).

### Заключение

С использованием зондирующего синхротронного излучения экспериментально определены оптические характеристики (спектральные коэффициенты отражения, поглощения, преломления) ряда полимерных материалов в УФ- и ВУФ-областях спектра в широком диапазоне температур. Полученные результаты необходимы при анализе многофакторных оптико-теплофизических и оптико-газодинамических светоэрозионных процессов в широком классе плазменных и фотонных энергетических установок [16, 17], а также при синтезе новых полимерных материалов сложного химиче-

ского состава с хромофорными группами и с необходимыми оптическими эмиссионными и абсорбционными свойствами.

Новые экспериментальные данные об оптических характеристиках данных веществ в спектральных областях, доступных для сравнения, являются разделом электронной базы экспериментальных и расчетно-теоретических данных оптических, термодинамических и транспортных характеристик активных сред и конструкционных материалов для плазменных и фотонных энергетических установок, излучательные характеристики которых лежат в области от мягкого рентгена до инфракрасного диапазона, а эффективные электронные температуры в диапазоне  $10^{-3}\text{—}10^2$  эВ. Логика и структура таких установок описана в [18].

Исследования выполнены при поддержке РФФИ, грант № 10-08-01212.

### Литература

1. Протасов Ю. С., Протасов Ю. Ю. // ДАН. 2002. Т. 387. № 5. С. 620.
2. Локтионов Е. Ю., Овчинников А. В., Протасов Ю. Ю. и др. // Там же. 2010. Т. 433. № 6 (в печати).
3. Протасов Ю. Ю., Семенов А. М., Щепанюк Т. С. // ТВТ. 2003. Т. 41. № 4. С. 545.
4. Локтионов Е. Ю., Протасов Ю. Ю. // ДАН. 2010. Т. 433. № 1 (в печати).
5. Зайдель А. Н., Шрейдер Е. Я. Спектроскопия вакуумного ультрафиолета. — М.: Наука, 1967.
6. Kaznatcheyev K. V., Ivanov S. N., Stankevitch V. G. // J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena. 1996. V. 80. P. 413.
7. Weber M. J. Handbook of optical materials. — Boca Raton: CRC Press, 2003.
8. Кулипанов Г. Н., Скринский А. Н. // УФН. 1977. Т. 122. № 3. С. 369.
9. Baker G. J., Brocklehurst B., Holton I. R. // J. Phys. B. 1987. V. 20. No. 10. P. L305.
10. Гинзбург В. Л., Мотулевич Г. П. // УФН. 1955. Т. 55. № 4. С. 469.
11. Lucarini V., Saarinen J. J., Peiponen K.-E. et al. Kramers-Kronig Relations in Optical Materials Research. — Berlin Heidelberg: Springer, 2005.
12. Barnes P. Y., Early E. A., Parr A. C. Spectral Reflectance. — Washington: Government Printing Office, 1998.
13. Whittet D. C. B., Dayawansa I. F., Dickinson P. M. et al. // Monthly Notices Royal Astronom. Soc. 1976. V. 175. P. 197.
14. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. — М.: Наука, 1973.
15. Dake S. B., Rajopadhye N. R., Bhoraskar S. V. // J. Phys. D. 1987. V. 20. No. 12. P. 1631.
16. Локтионов Е. Ю., Овчинников А. В., Протасов Ю. Ю. и др. // Краткие сообщения по физике. 2010. № 3. С. 31.
17. Протасов Ю. Ю., Спектрально-яркостные характеристики приповерхностной лазерной плазмы аблирующих мишеней в вакууме // Энциклопедия низкотемпературной плазмы Т. III-2 / Ред. В. Н. Очкин. — М.: Янус-К, 2008. С. 640.
18. Термодинамические, оптические и транспортные свойства рабочих веществ плазменных и фотонных энергетических установок: Под ред. Ю. С. Протасова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002 (в 3-х томах).

## **Investigation of condensed polymeric media spectral refraction and absorption indexes in shortwave spectral region in vacuum**

*S. N. Ivanov*

Kurchatov Center for Synchrotron Radiation and Nanotechnology, 1 Kurchatov sq., 123182, Moscow, Russia

*E. Yu. Loktionov, Yu. Yu. Protasov*

Bauman Moscow State Technical University, 5 Second Baumanskaya str., 105005, Moscow, Russia

E-mail: stcpe@bmstu.ru

*Polymeric materials spectral refraction and absorption indexes in shortwave spectral region in vacuum at 77 and 298 K sample temperature experimental measurement and analysis results are presented. Data obtained at Kurchatov synchrotron radiation source "Sibir-1" using developed VUV spectrometry optico-diagnostical module and methodics.*

PACS: 07.60.Hv; 41.60.Ap; 78.20.Ci

*Keywords:* optical constants, polymers, optico-diagnostical module, synchrotron radiation.

Bibliography — 18 references.

*Received May 20, 2010*