

О ПРОЗРАЧНОСТИ КРИСТАЛЛОВ ПАРАТЕЛЛУРИТА В ТЕРАГЕРЦОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА ON THE TRANSPARENCY OF PARATELLURITE CRYSTALS IN THE TERAHERTZ REGION OF THE SPECTRUM

И.А. Каплунов¹, Г.И. Кропотов², С.В. Молчанов¹, В.Е. Рогалин³,
С.А. Третьяков¹, А.А. Шахмин²

¹Тверской государственный университет, Россия,

²ООО «Тидекс», г. Санкт-Петербург, Россия,

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт электрофизики и электроэнергетики РАН, г. Санкт-Петербург,
Россия. E-mail: v-rogalin@mail.ru

Abstract. Проведены измерения спектральных зависимостей коэффициента пропускания монокристаллов парателлурифта в ИК и ТГц диапазонах. Впервые обнаружено, что в спектральном диапазоне 600 – 3000 мкм наблюдается пропускание до 30 – 35 % излучения.

Abstract. The spectral dependences of the transmission coefficient of paratellurite single crystals were measured in the IR and THz ranges. It was found for the first time that in the spectral range of 600 - 3000 μm , transmission of up to 30 - 35% of radiation is observed.

Введение

В оптическом и ИК диапазонах успешно реализовано множество технологий, без которых мы уже с трудом представляем современную оптику. Одно из таких направлений, это акустооптика [1]. В основе ее работы лежит дифракция света на фазовых решетках, создаваемых упругими волнами в материале благодаря модуляции показателя преломления. Она применяется для управления лазерным излучением или спектрального анализа изображений. Лучшим материалом для акустооптики является монокристалл парателлурифта (TeO_2), широко применяемый в диапазоне 0.35 – 5.5 мкм. Обычно его выращивают способом Чохральского, размером до 100 мм в диаметре и весом до 3 кг.

В последние десятилетия возник значительный интерес к исследованию терагерцового (ТГц) диапазона электромагнитного излучения, занимающего промежуточное положение между инфракрасным (ИК) излучением и радиодиапазоном. Это область

(30 – 3000 μm ; 0.1 – 10 терагерц). Развитие этого диапазона во многом тормозится значительным дефицитом прозрачных оптических материалов, в частности, пригодных для использования в акустооптике [2]. Проблема быстрого пространственного наведения ТГц излучения является одной из основных задач терагерцевой спектроскопии. Частично, для области 120 - 300 мкм, она решается с помощью акустооптических устройств на основе германия [3]. Проводились и исследования парателлурита [4].

Данная работа посвящена исследованию спектральных зависимостей коэффициента пропускания монокристаллов парателлурита в диапазоне 0.185 – 3000 мкм, причем основное внимание уделено ТГц области.

Методика эксперимента

Монокристаллы парателлурита ($\alpha\text{-TeO}_2$) были выращены методом Чохральского в воздушной среде при нормальном давлении.

Для исследований спектральных характеристик оптического пропускания монокристаллов были подготовлены образцы от разных производителей монокристаллов и использовалось исходное сырье с разной степенью чистоты.

В Тверском государственном университете (ТвГУ; <https://tversu.ru/>) и на предприятии «Элент А» (г. Днепропетровск; www.elent-a.net) кристаллы выращивали в кристаллографическом направлении $\langle 001 \rangle$ (оптическая ось); диаметр монокристаллов составлял 60-80 мм. В ТвГУ монокристаллы были выращены из исходной шихты марки ОСЧ 7-4 (массовая доля примесей менее 0.0001%) и из шихты марки ХЧ (чистота основного вещества 99.5%). Кристаллы предприятия «Элент А» выращивались из исходной шихты с чистотой не хуже 99,9995% основного вещества. Для сравнения были подготовлены образцы из кристаллов парателлурита, серийно выпускаемых в КНР.

Для исследования пропускания каждого типа кристаллов, отличающихся производителем и чистотой, было изготовлено по 3 образца, отличающихся кристаллографическими направлениями: $\langle 110 \rangle$; $\langle 100 \rangle$ и $\langle 001 \rangle$. Всего 12 образцов, толщина которых составляла $5,21 \pm 0,01$ мм.

Образцы имели следующие характеристики полированных оптических поверхностей: плоскостность: $N < 0.3$, $\Delta N < 0.1$; клиновидность: $\Theta \sim 20^\circ$; чистота: $P = III$.

Для исследования отражения были подготовлены 3 клиновидных образца с индексами плоскости поверхностей, соответствующими кристаллографическому направлению исследуемых на оптическое пропускание образцов: $\langle 110 \rangle$; $\langle 100 \rangle$ и $\langle 001 \rangle$. Полированная плоскость соответствовала характеристикам обработанных поверхностей, представленным выше. Остальные плоскости на образцах имели матовую структуру. Угол между поверхностями клиновидных образцов обеспечивал отсутствие возможных отражений от второй матовой поверхности при измерениях с использованием соответствующей приставки.

Спектральное пропускание образцов регистрировалось с помощью спектрофотометра Photon RT (Essent Optics), Фурье-спектрометра Vertex 70 (Bruker) в спектральном диапазоне 0.185 – 670 μm . Для Photon RT в диапазоне 185 – 1700 нм абсолютная погрешность шкалы длин волн составляла 1 nm, для Vertex 70 точность определения волнового числа составляла 0.3 – 0.5 cm^{-1} . В диапазоне 150 – 3000 μm измерения осуществлялись на приборе TeraK8 (Menlo Systems). Погрешность в измерении коэффициентов пропускания и отражения на приборах составляла $\sim 0,5\%$.

Экспериментальные результаты и обсуждение

Хорошо известно [1], область пропускания парателлурита в ИК диапазоне ограничена зоной 5 – 6 мкм. В области прозрачности исследованные образцы пропускали до 75 % излучения (рис. 1) (монокристаллы ТвГУ, сырье ОСЧ). Далее, простирается область фоновонного поглощения 6 – 300 мкм, в которой пропускание полностью отсутствует. Однако, начиная с области ~ 300 мкм, появляются следы уменьшения фоновонного поглощения. Пропускание монотонно растет, достигая максимума в области 2000 мкм, после чего наблюдается незначительное снижение. К сожалению, даже в области 2000 мкм, пропускание образцов не превышало 20 – 35 %.

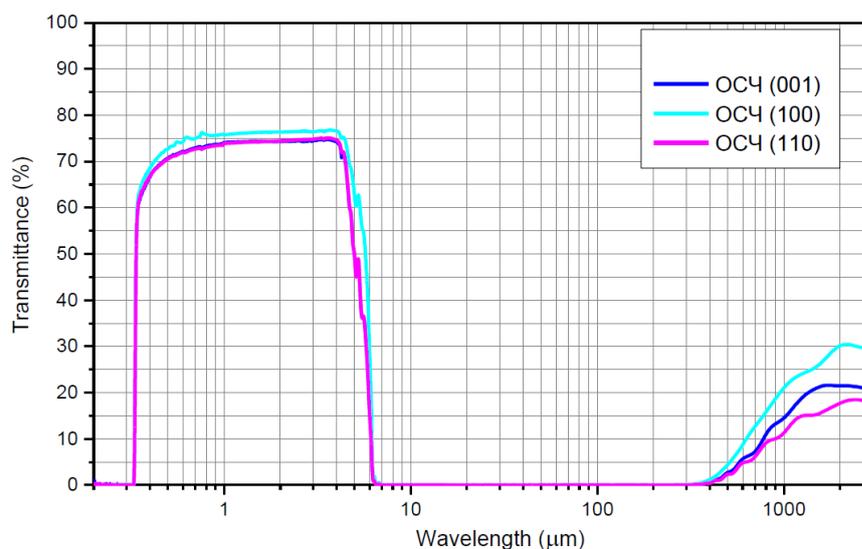


Рис. 1 Спектры пропускания образцов парателлурифта (ОСЧ, ТьГУ) различной ориентации

Столь заметный разброс в пропускании образцов, возможно, обусловлен анизотропией показателя преломления, проявившейся при измерении спектра отражения (рис. 2). Спектр отражения монокристалла парателлурифта с кристаллографической ориентацией $\langle 001 \rangle$ существенно отличается для направлений $\langle 110 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$.

Результаты исследований показывают, что парателлурифт пропускает излучение в ТГц спектральном диапазоне и акустооптические элементы из монокристаллического парателлурифта могут быть использованы в области длин волн 700 - 3000 мкм.

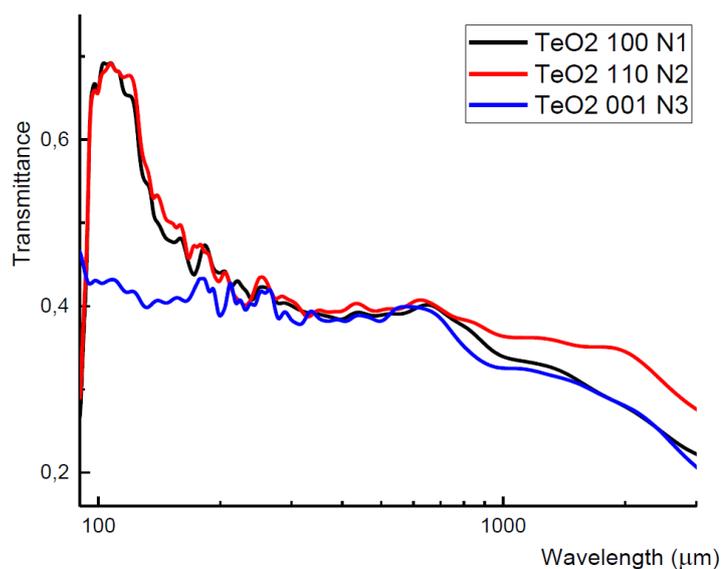


Рис. 2 Спектры отражения парателлурифта в области 100 – 3000 мкм для ориентаций образца $\langle 001 \rangle$, $\langle 100 \rangle$, $\langle 110 \rangle$

Работа выполнена в рамках государственного задания по научной деятельности № 75-03-2022-056 и № 0817-2020-0007 с использованием ресурсов Центра коллективного пользования Тверского государственного университета и ООО «Тидекс».

Литература

1. Молчанов В.Я., Китаев Ю.И., Колесников А.И., Нарвер В.Н., Розенштейн А.З., Солодовников Н.П., Шаповаленко К.Г. Теория и практика современной акустооптики. М.: МИСиС, 2015. 459 с.
2. Рогалин В.Е., Каплунов И.А., Кропотов Г.И. // Опт. и спектр. 2018. 125. № 6. С. 851-863. doi 10.21883/OS.2018.12.46951.190-18.
3. Каплунов И.А., Колесников А.И., Кропотов Г.И., Рогалин В.Е.// Оптика и спектроскопия, 2019. 126. № 3. С. 271-274. DOI: 10.21883/OS.2019.03.47365.194-18.
4. Komandin G., Nozdrin V., Chuchupal S., Lomonov V., Pisarevskii Yu., Porodinkov O. and Spektor I. J. Phys. D: Appl. Phys. 2020. 53. 495102.