

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕЛЛУРОИНДАТА СВИНЦА

Д.В. Бадиков, В.В. Бадиков, В.Л. Панютин, В.И. Чижиков, Г.С. Шевырдяева

ООО «Малое инвестиционное предприятие «Кристалл-КубГУ»», г. Краснодар

Исследовано влияние переменного химического состава твердых растворов на ширину запрещенной зоны, изменение положения края полосы пропускания в коротковолновой области спектра, показатели преломления n_o , n_e , величину двулучепреломления, дисперсию значений показателей преломления при различных длинах волн, а также на условия фазового синхронизма. Показатели преломления $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ в зависимости от длины волны принимают значения от 3 до 3,2. Дисперсия лежит в пределах 0,03–0,05. Область прозрачности $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$, в которой коэффициент поглощения не превышает $(0,07 \pm 0,03) \text{ см}^{-1}$, простирается от 3 до 20 мкм. При уровне поглощения, составляющем $0,3 \text{ см}^{-1}$, $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ прозрачен от 1,7 до 25 мкм, в то время как граница нулевого уровня пропускания находится в районе 31 мкм. Значения ширины запрещенной зоны $E_g(\text{direct})=1,08 \text{ эВ}$ (1,15 мкм) и $E_g(\text{indirect})=0,96 \text{ эВ}$ (1,29 мкм) соответственно. В оптически положительных кристаллах точечной группы $D_3(32)$ эффективная нелинейность для трехволнового взаимодействия определяется выражениями $d_{\text{eff}}(oe-o)=d_{11}\cos\theta\cos3\phi$ и $d_{\text{eff}}(ee-o)=d_{11}\cos2\theta\sin3\phi$. Измеренное значение нелинейного коэффициента d_{11} составило $(51 \pm 3) \text{ пм/В}$.

1. Введение

Широко известны и используются в различных областях техники нелинейные преобразователи частоты ультрафиолетового, видимого, ближнего и среднего инфракрасного излучения. Область прозрачности преобразователей частоты не превышает 16 мкм. Расширение диапазона преобразования когерентного излучения в дальнюю инфракрасную область до 25-30 мкм представляет важную научную и техническую задачу. Решение этой проблемы позволит изучить влияние среднего и дальнего ИК излучения на биохимические процессы живых организмов, проводить абляцию, а также решить задачу по разделению радиоактивных изотопов при переработке отработанного топлива в атомных реакторах. Цель лазерной абляции состоит в удалении определенного объема ткани биологического объекта в жизненно важных структурах тела, таких как мозг или глаза, оставляя биологически жизнеспособными ткани, прилегающие к облученной области.

Использование нелинейных кристаллов для среднего и дальнего инфракрасного излучения в параметрических генераторах света при накачке сверхкороткими импульсами способствует созданию новых типов приборов. Большая ширина спектра пропускания у таких преобразователей позволяет жать импульс до 10 фс. Если обеспечить синхронизацию фазовой скорости с групповой скоростью, то можно получить лазерное излучение со сверхкороткими импульсами. Такая система будет формировать аттосекундные импульсы, длительность которых сопоставима с периодом вращения электрона вокруг ядра. Лазерные источники сверхкоротких импульсов ИК диапазона на нелинейных кристаллах станут важным инструментом для изучения фундаментальных процессов, таких как динамика внутризонных переходов в квантовых системах, динамика носителей тока в полупроводниках, релаксация колебательных мод в молекулах, визуализация движений электронов в полупроводниках и внутризонных переходах. Кроме того, на порядки возрастут выходные мощности параметрических генераторов света.

К перспективным нелинейным материалам для преобразования частоты дальнего ИК диапазона с широким спектром пропускания можно отнести соединения, кристаллизующиеся в структуре $\beta\text{-Mn}$. Этот термин применяется к фазам, содержащим подструктуры атомов неметаллов (Te^{2-} , Γ), у которых проявляется топология $\beta\text{-Mn}$ и дырки междоузлий заполняются атомами металла либо в беспорядочном, либо в упорядоченном виде. К ним относятся соединения $\text{PbGa}_6\text{Te}_{10}$, $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$, $\text{CaGa}_6\text{Te}_{10}$, $\text{SnIn}_6\text{Te}_{10}$, $\text{In}_7\text{Te}_{10}$ с точечной группой симметрии $D_3(32)$ и пространственной группой $R32(D_3^7)$ [1-9]. Они прозрачны в среднем и дальнем ИК диапазонах спектра, потенциально имеют повышенные пьезоэлектрические, электрооптические и нелинейно-оптические свойства.

Целью данной работы является выращивание монокристаллов, изготовление пластинок и проведение линейных и нелинейных оптических исследований $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ (PIT).

Наличие области твёрдых растворов переменного химического состава этого соединения заметно влияет на ширину запрещённой зоны и соответственно на изменение края полосы пропускания в коротковолновой области спектра, показатели преломления n_o , n_e , величину двулучепреломления, дисперсию значений показателей преломления на различных длинах волн в диапазоне 1,3–30 мкм, фазовый синхронизм при взаимодействии лазерных частот, лучевую стойкость.

Одновременно экспериментальные данные оптических линейных и нелинейных свойств выращенных монокристаллов использовались для изучения бинарных фазовых диаграмм $\text{PbTe-In}_2\text{Te}_3$ и точного определения областей твердых растворов.

2. Показатели преломления

Установка. При разработке новых нелинейных монокристаллов, получаемые первые образцы и изготовленные из них призмы, часто имеют небольшие размеры, из-за чего измерение показателей преломления на обычно используемых приборах иногда бывает невозможным. Созданная нами установка предназначена для измерения показателей преломления призм с размерами преломляющих граней от $5 \times 5 \text{ мм}^2$ в широкой области спектра: 0,40–45 мкм. Используется метод угла минимального отклонения. Установка собрана на базе инфракрасного спектрометра ИКС-21, монохроматора МДР-2 и гониометра ГС-5 (рис. 1).

Установка состоит из двух ветвей, оптические оси которых лежат в горизонтальной плоскости и пересекаются на оси вращения столика гониометра. В первой ветви, предназначенной для работы в диапазоне длин волн 0,4–1,2 мкм, источником монохроматического света служит монохроматор 3 (МДР-2), выходная щель которого через конденсор 2 освещается лампой 1 (КГМ-200). Конденсатор 4 проектирует выходную щель монохроматора в плоскость щели коллиматора 5. Свет после коллиматора падает параллельным пучком на призму 6. Преломленный пучок лучей, пройдя объектив зрительной трубы 8, визуально регистрируется при помощи окуляров диапозона 0,4–0,7 мкм или системы окуляр – ЭОП (типа П-4) в диапазоне 0,7–1,2 мкм. Во второй ветви, предназначенной для работы в области спектра 0,8–45 мкм (основной рабочий интервал 2–15 мкм), источником монохроматического света служит инфракрасный спектрометр 9 (ИКС-21). Свет после зеркального коллиматора 10 падает параллельным пучком на призму 6. Преломленный пучок лучей регистрируется при помощи приемной системы 11, установленной на алиаду гониометра вместо зрительной трубы.

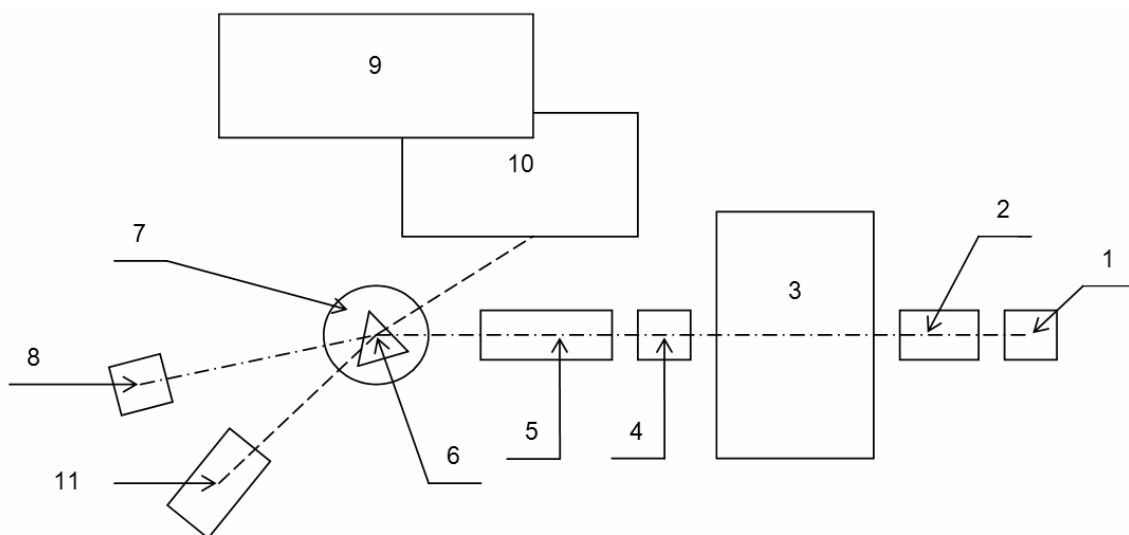


Рис. 1. Блок – схема установки: 1 – осветитель; 2 – конденсор монохроматора; 3 – монохроматор; 4 – конденсор; 5 – коллиматор гониометра; 6 – призма из исследуемого материала; 7 – поворотный столик гониометра; 8 – зрительная труба гониометра; 9 – инфракрасный спектрометр; 10 – зеркальный коллиматор; 11 – приемная система

Оптическая схема зеркального коллиматора и приемной системы представлена на рис. 2. Элементы 2-5 относятся к зеркальному коллиматору, элементы 7-11 – к приемной системе. Внеосевой параболоид 2 ($f = 270$ мм), в фокусе которого находится выходная щель 1 инфракрасного спектрометра, дает широкий параллельный пучок света. Внеосевой параболоид 3 ($f = 270$ мм), и сферическое зеркало 4 ($f = 90$) преобразует его в узкий параллельный пучок. Это позволяет, с учетом поглощения диспергирующей призмы инфракрасного спектрофотометра и потерь при отражении света от зеркал 2–5, увеличить освещенность образцов приблизительно в 7 раз по сравнению с обычно используемыми приборами. Сферическое зеркало 7 ($f = 90$ мм), преобразующее преломленный призмой 6 пучок света, дает в плоскости, регулируемой по ширине щели 8 изображение выходной щели 1 с однократным увеличением. Щель 8 находится в одном из фокусов эллипсоида 11 и проектируется с двенадцатикратным уменьшением на болометр 12 (5М – 6У1). Зеркала 5, 9, 10 служат для излома оптической оси. Усиление и регистрация электрического сигнала, поступающего с болометра, производится с помощью усилителя и потенциометра инфракрасного спектрометра. При предварительных испытаниях установки проводились измерения показателя преломления призмы из CaF_2 с размером преломляющих граней 5×5 мм² и преломляющим углом 30° . В диапазоне длин волн 0,4–9 мкм расхождения между результатами, полученными нами и сообщаемыми в литературе, колеблются от $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ до $\pm 4 \cdot 10^{-4}$. В области спектра 9 – 45 мкм ожидаемая погрешность измерений не превышает $1 \cdot 10^{-3}$.

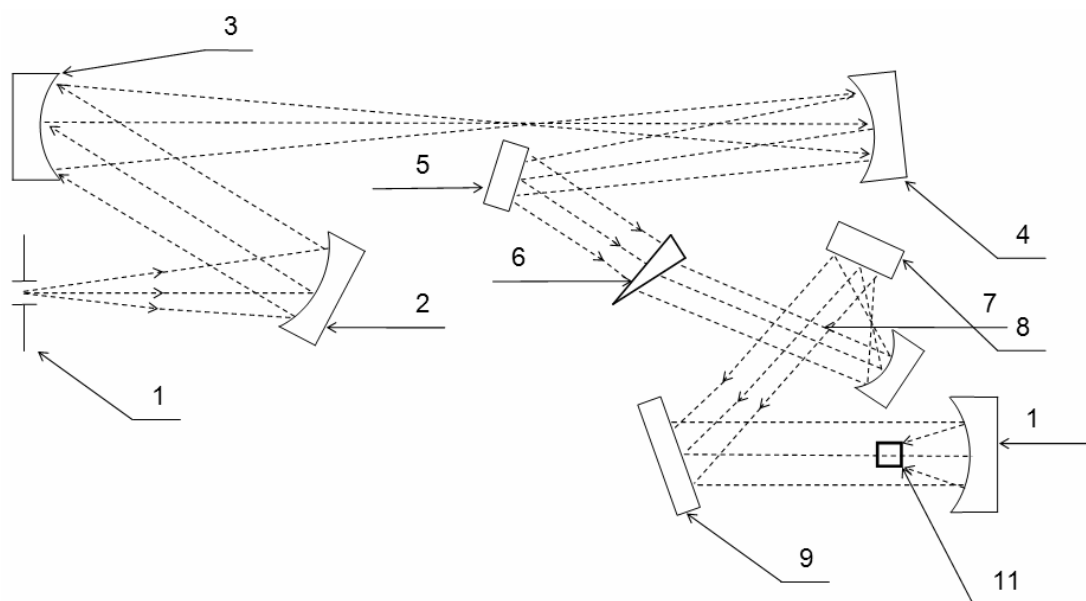


Рис. 2. Оптическая схема зеркального коллиматора и приемной системы: 1- выходная щель инфракрасного спектрометра; 2-3 – внеосевые параболоиды; 4, 7 – сферические зеркала; 5, 8, 9 - плоские зеркала; 6 – призма из исследуемого материала; 10 – эллипсоид; 11 – болометр

Результаты измерений. Для проведения измерений из оставшихся частей той же були были изготовлены две призмы для измерения показателей преломления (рис. 3). Одна из них соответствовала высоте $h = 10$ -15 мм, другая – высоте $h = 47$ -52 мм, апертура не превышала 1 см².

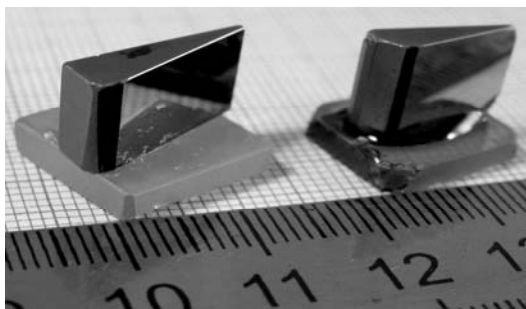


Рис. 3. Призмы из $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$, изготовленные для измерений показателя преломления

Поскольку для обеих призм углы преломления были далеки от оптимальных, то измерения ограничивались спектральным диапазоном от 1600 до 2000 нм. Наиболее важным наблюдением представляется то, что в районе 2000 нм в пределах погрешности измерений обыкновенный показатель преломления имеет неизменную величину ($n_o = 3,070 \pm 0,005$) как в верхней, так и в нижней частях булы. Следует заметить, что такая же величина обыкновенного показателя преломления может быть рассчитана для данной длины волны с коэффициентами Селлмейера, представленными ниже в табл. 1, которые были основаны на измерениях на другой буле (нижняя часть). Таким образом, можно заключить, что показатель преломления для обыкновенной волны лишь незначительно зависит от высоты. Однако показатель преломления для необыкновенной волны демонстрирует другое поведение. В указанном выше спектральном диапазоне $n_e(\text{низ}) - n_e(\text{верх}) = 0,025$. Эта разница достаточно значительна, принимая во внимание, что двулучепреломление в нижней части составляет $\Delta n(\text{низ}) = 0,05$. Надо отметить, что величина необыкновенного показателя преломления в нижней части $n_e(\text{низ})$ составляла 3,120 в районе 2000 нм, что значительно ближе к величине 3,125, которая может быть рассчитана из табл. 1 для нижней части другой булы.

3. Ширина запрещенной зоны

На основании измеренного коэффициента поглощения $\alpha(h\nu)$ и используя зависимости $(h\nu\alpha)^2$ от $h\nu$ и $(h\nu\alpha)^{1/2}$ от $h\nu$, мы непосредственно и косвенно получили значения ширины запрещенной зоны E_g (непосредственно) = 1,08 эВ (1,15 мкм) и E_g (косвенно) = 0,96 эВ (1,29 мкм) соответственно (Рис. 4).

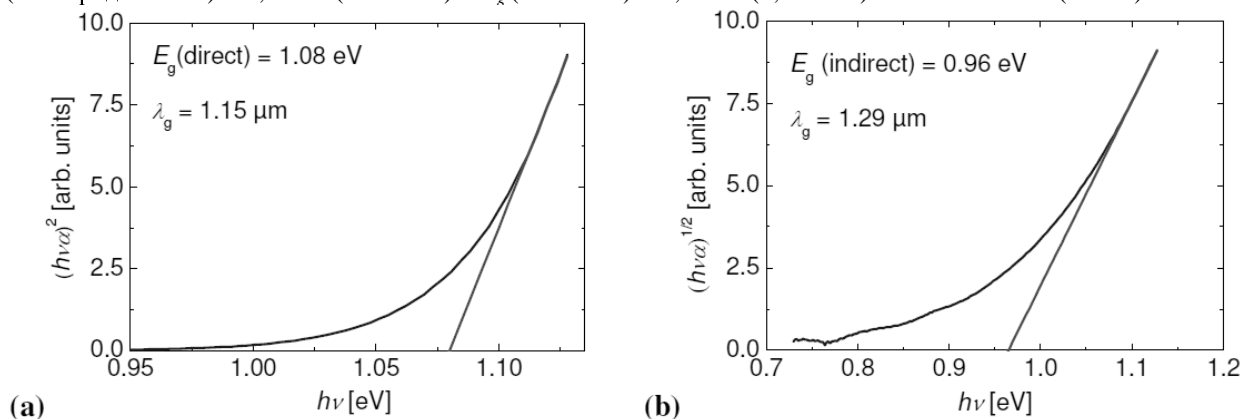


Рис. 4. Прямое (а) и косвенное (б) определение ширины запрещенной зоны РИТ при использовании пластины толщиной 0,25 мм и неполяризованного света

4. Нелинейность

Коэффициенты отражения РИТ измерялись в спектральном диапазоне 1,5-10,4 мкм с помощью автоколлимационного метода, при использовании призм с углом при вершине около 12° и апертуре 12×15 мм². Точность измерений была лучше, чем 0,005. Мы установили, что РИТ является оптически положительным с характерным двулучепреломлением $n_e - n_o \sim 0,05$, что свидетельствует о его способности к фазовому взаимодействию. Из уравнений Селлмейера, записанных на основе измеренных дисперсионных данных (Табл. 1), мы оценили положение коротковолновой границы генерации второй гармоники (SHG) в районе $\sim 3,6$ мкм (фундаментальная волна).

Коротковолновая и длинноволновая границы ГВГ процесса (для взаимодействия $ee-o$ по типу-I) были определены исходя из решений уравнения $\Delta n(\lambda_F) = \delta n(\lambda_F, \lambda_F/2)$, где $\Delta n = n_e(\lambda_F) - n_o(\lambda_F)$ является двулучепреломлением для фундаментальной волны, а $\delta n = n_o(\lambda_F/2) - n_o(\lambda_F)$ служит мерой дисперсии обыкновенной волны между фундаментальной волной и второй гармоникой. Таким образом, длинноволновая граница может быть определена только посредством экстраполяции имеющихся данных по показателю преломления и она (граница) должна находиться в районе 21 мкм. На этих двух границах угол фазового взаимодействия приближается к 90° , а между ними он достигает минимальной величины равной 32° для ГВГ процесса на 8,3 мкм (главное значение).

Табл. 1. Коэффициенты Селлмейера $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ при комнатной температуре:
 $n^2 = A_1 + A_3/(\lambda^2 - A_2) + A_5/(\lambda^2 - A_4)$, где λ в мкм (1,5–10,4 мкм)

n	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
n_o	11,162067	0,720740	0,900821	3153,47	6347,934
n_e	11,938574	0,442087	1,227212	3819,91	9616,588

В оптически положительных кристаллах точечной группы D_3 (32), к которой относится РИТ, эффективная нелинейность для трехволнового взаимодействия определяется выражениями $d_{\text{eff}}(oe-o) = d_{11}\cos\theta\cos3\varphi$ и $d_{\text{eff}}(ee-o) = d_{11}\cos2\theta\sin3\varphi$. Полярный и азимутальный углы θ и φ определяются в кристаллофизической системе координат XYZ (связанной с диэлектрическими координатами xuz), в которой ось Z параллельна c -кристаллографической оси (оптическая ось), а ось X параллельна одной из кристаллографических a -осей.

Нелинейный коэффициент d_{11} для РИТ был измерен посредством сравнения эффективности ГВГ преобразования с эффективностью, полученной на кристалле ZnGeP_2 (ZGP). Фундаментальный луч длиной волны 4,7 мкм, который мы использовали, был получен с помощью фемтосекундного оптического параметрического усилителя (ОПУ), с накачкой вблизи 800 нм с частотой следования импульсов около 1 кГц. В ОПУ использовался кристалл KNbO_3 , длиной 6 мм, разрезанный под углом $\theta = 41,9^\circ$ для фазового взаимодействия по Типу-I. В качестве источника ОПУ мы использовали частотно удвоенный до ~1 мкм холостой сигнал с выхода другого ОПУ, $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (ВВО) Тип-II, накачиваемого на 800 нм тем же самым источником накачки. Холостые импульсы с KNbO_3 ОРА на 4,7 мкм расширялись в непрерывном режиме, но при этом одновременно сужались по спектру. Особое внимание уделялось тому, чтобы обеспечить удовлетворительный спектральный и угловой прием, для того, чтобы можно было пренебречь этими эффектами и пространственным сносом волны при двулучепреломлении.

Тестовая пластинка РИТ толщиной 0,48 мм и эталонный образец ZGP толщиной 0,53 мм были разрезаны под углы $\theta = 48^\circ$, $\varphi = 30^\circ$ и $\theta = 50,5^\circ$, $\varphi = 0$ соответственно. Величина углового приема (FWHM) была $5,8^\circ$ для РИТ и 5° для ZGP, а угол двулучепреломления составлял $\rho = 0,9^\circ$ в РИТ и $\rho = 0,7^\circ$ в ZGP. Величины рассогласования групповой скорости равнялись 170 фс/мм для РИТ и 70 фс/мм для ZGP. Эта разница могла привести только к снижению нелинейности РИТ, но при 350 фс фундаментальных импульсах на 4,7 мкм (обычное спектральное значение для FWHM на 100 нм), она не должна приводить к существенной ошибке. Для фундаментальной энергии 3-4 мкДж, размер пятна был выбран достаточно большим, так, чтобы эффект сноса пространственной волны был пренебрежимо мал и эффективность преобразования внутренней энергии оставалась ниже 10% (аппроксимация слабого сигнала). Наблюдаемые углы фазового смещения для обоих образцов были очень близки к углам разрезки и для расчета относительных нелинейностей мы лишь приняли во внимание влияние различия в показателях преломления на френелевские потери и на коэффициент связности.

Для обоих кристаллов (ZGP и РИТ) мы провели по 5 контрольных серий, каждая из которых состояла из 8–10 измерений с точной настройкой кристалла по максимуму ГВГ. Результаты могут быть суммированы следующим образом: $d_{\text{eff}}(\text{РИТ}) = (0,290 \pm 0,015) \cdot d_{36}(\text{ZGP})$ или $d_{11}(\text{РИТ}) = (0,647 \pm 0,034) \cdot d_{36}(\text{ZGP})$. Имея в виду, что для данного процесса $d_{36}(\text{ZGP}) = 79$ пм/В, мы получили $d_{11}(\text{РИТ}) = (51 \pm 3)$ пм/В.

Для измерений порогов лучевой стойкости в режиме наносекундных импульсов использовался импульсно-периодический Nd:YAG лазер с диодной накачкой и электрооптической модуляцией добротности резонатора, работавший на длине волны 1,064 мкм. Лазер излучал импульсы длительностью 14 нс (по уровню 0,5) на частоте следования 100 Гц с энергией 100 мДж. Изменение энергии от импульса к импульсу не превышало $\pm 1\%$. Пучок диаметром 3,8 мм (по уровню e^{-2}) имел близкое к гауссовскому распределение интенсивности в поперечном сечении. Согласно спецификации параметр качества пучка $M^2 < 1.5$, его расходимость не превышала 0,5 мрад, и ширина линии излучения составляла 1 см^{-1} . Лазер был защищен от отраженного назад излучения фарадеевским изолятором, установленным внутри его корпуса.

Для уменьшения частоты следования импульсов излучения до 10 Гц использовался механический прерыватель с диаметром апертуры 8 мм. Работа прерывателя управлялась при помощи импульсов синхронизации от лазера. Энергия излучения изменялась с помощью системы, состоявшей из полуволновой фазовой пластинки на 1,064 мкм, которая для этой же длины волны имела просветляющие покрытия, и призмы Глана.

Исследуемые пластины устанавливались на расстоянии 1,3–1,5 м от лазера и ориентировались так, чтобы лазерное излучение падало на них нормально. Эксперимент с каждой из исследовавшихся пластинок состоял из серии экспозиций длительностью по 5 минут. В течение одной экспозиции образец подвергался облучению лазерными импульсами с заданной энергией. С каждой следующей экспозицией энергия импульсов увеличивалась. Весь эксперимент проводился при одной выбранной частоте следования импульсов – 10 Гц или 100 Гц. При появлении видимого разрушения на одной из поверхностей эксперимент прекращался. Этот момент фиксировался визуально. Фиксировалось также время, прошедшее от начала последней экспозиции до момента появления разрушения. Все результаты измерений даны в цифрах интенсивности и поверхностной плотности энергии на оси пучка.

На частоте повторения импульсов 100 Гц пробой пластинок наступал при плотностях энергии 0,78–0,92 Дж/см² (56–66 МВт/см²) в течение первых двух минут экспозиции (до $12 \cdot 10^3$ импульсов). При более низких энергиях в пяти случаях из семи появлению пробоя предшествовало появление на непокрытой поверхности белесого пятна. Самое низкое значение плотности энергии, при котором это повреждение было зафиксировано – 0,50 Дж/см² (36 МВт/см²).

5. Заключение

Новый кристалл $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ одноосный, положительный, относится к тригональной сингонии. Диапазон прозрачности кристалла составляет 1,5–30 мкм. При этом спектр пропускания не имеет поглощения в среднем и дальнем ИК диапазоне. Коэффициент поглощения не превышает 0,05 см⁻¹. Показатель преломления $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ в зависимости от длины волны принимает значения от 3 до 3,2. Дисперсия лежит в пределах 0,03–0,05. Коэффициент нелинейности этого материала 51 пм/В, что значительно превышает значения у таких широко известных кристаллов, как AgGaS_2 (13 пм/В) и AgGaSe_2 (33 пм/В). Высокий нелинейный коэффициент в сочетании с таким широким пропусканием может сделать его уникальным материалом для нелинейного частотного преобразования в среднем и дальнем ИК спектральных диапазонах. Он может накачиваться посредством Er^{3+} -лазерного источника, работающего в спектральном диапазоне 2,9 мкм, Cr^{2+} -лазерами в спектральном диапазоне 2,5 мкм (не имея при этом существенного двухфотонного поглощения) или даже, после снижения остаточных потерь, в диапазоне вблизи 2 мкм, наподобие хорошо известных мощных Ho^{3+} - или Tm^{3+} -лазерных систем.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований и департаментом по науке и образованию Администрации Краснодарского края: грант 13-02-96500_р-юг.

Литература

1. *Deiseroth H.J., Muller H.D.* Structural relations in the family of nonmetallic filled β -manganese phases: the new members $\text{AGa}_6\text{Te}_{10}$ (A: Sn, Pb) and $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ // *Z. Anorg. Allg. Chem.* – 1996. – No. 622 (3). – P. 405–410.
2. *Kienle L., Deiseroth H.J.* $\text{SnAl}_6\text{Te}_{10}$, $\text{SnGa}_6\text{Te}_{10}$ and $\text{PbGa}_6\text{Te}_{10}$: superstructures, symmetry relations and structural chemistry of filled β -manganese phases // *Z. Kristallogr.* – 1998. – No. 213 (11). – P. 569–574.
3. *Баранец С.М., Дедегкаев Т.Т., Дугужев Ш.М.* Исследование системы $\text{PbTe-Ga}_2\text{Te}_3$ // *Изв. АН СССР. Неорган. материалы.* 1987. Т. 23, № 7. – С. 1221–1224.
4. *Рогачева Е.И., Панасенко Н.М., Серегин П.П.* Исследование полупроводниковых сплавов системы $\text{PbTe-In}_2\text{Te}_3$ // *Изв. АН СССР. Неорган. материалы.* – 1980. – Т. 16, № 2. – С. 264–267.
5. *Аванесов С.А., Бадиков Д.В., Бадиков В.В. и др.* Исследование фазовых равновесий в системах: $\text{PbTe-In}_2\text{Te}_3$, $\text{PbTe-Ga}_2\text{Te}_3$, $\text{PbGa}_6\text{Te}_{10}$ – $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$, $\text{PbGa}_6\text{Te}_{10}$ – $\text{CaGa}_6\text{Te}_{10}$, $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ – $\text{CaIn}_6\text{Te}_{10}$ для поиска новых нелинейных кристаллов дальнего ИК диапазона // *Оптика и спектроскопия конденсированных сред: материалы XIX Всерос. конф. Краснодар, 2013.* – С. 214–218.
6. *Аванесов С.А., Бадиков Д.В., Бадиков В.В. и др.* Новые нелинейные кристаллы для трехчастотных взаимодействий в диапазоне от 2 до 25 мкм // *Оптика и спектроскопия конденсированных сред: материалы XIV Всерос. конф. Краснодар, 5-11 окт. 2008.* – С. 74–78.
7. *Аванесов С.А., Бадиков Д.В., Бадиков В.В. и др.* Оптические свойства теллуригаллата свинца // *Оптика и спектроскопия конденсированных сред: материалы XVII Всерос. конф. Краснодар, 18-24 сент. 2011.* – С. 251–254.

8. New nonlinear crystal for three-wave interactions with transmission extending from 1,7 to 25 μm / V. Badikov, D. Badikov, G. Shevyrdyaeva [et al.] // Nonlinear Optics, OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2011), paper NMA2.

9. Avanesov S., Badikov V., Tyazhev A. et al. $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$: new nonlinear crystal for three-wave interactions with transmission extending from 1,7 to 25 μm // Optical Materials Express. 2011. Vol. 1. Iss. 7. P. 1286–1291. URL: <http://dx.doi.org/10.1364/OME.1.001286>.

INVESTIGATION OPTICAL PROPERTIES OF LEAD INDIUM TELLURIUM

D.V. Badikov, V.V. Badikov, V.L. Panyutin, V.I. Chizhikov, G.S. Shevyrdyaeva

The influence of variable chemical composition of solid solutions on the band gap, changing the position of the edge of the bandwidth in the shortwave region of the spectrum, the n_o , n_e refractive indices, the magnitude of the birefringence, the variance of the values of refractive indices at different wavelengths, as well as on the conditions of phase matching. The $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ refractive indices depending on the wavelength accepts values from 3 to 3,2. The dispersion is in the 0,03–0,05 range. Transparency $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$, in which the absorption coefficient does not exceed $(0,07 \pm 0,03) \text{ cm}^{-1}$, extends from 3 to 20 μm . When the level of absorption average of $0,3 \text{ cm}^{-1}$, $\text{PbIn}_6\text{Te}_{10}$ transparent from 1,7 to 25 microns, while the boundary is zero bandwidth is in the area of 31 μm . Values of the band gap E_g (direct) = 1,08 eV (1,15 μm) and E_g (indirect) = 0,96 eV (1,29 μm), respectively. In the optically positive crystal point group D_3 (32) the effective nonlinearity for three-wave interaction is determined by the expressions $d_{\text{eff}}(oe-o)=d_{11}\cos\theta\cos3\varphi$ and $d_{\text{eff}}(ee-o)=d_{11}\cos2\theta\sin3\varphi$. The measured value of the d_{11} nonlinear coefficient was $(51 \pm 3) \text{ pm/V}$.