

## Вынужденное комбинационное рассеяние в кристаллах щелочноземельных вольфрамов

П.Г.Зверев, Т.Т.Басиев, А.А.Соболь, В.В.Скорняков, Л.И.Ивлева, Н.М.Полозков, В.В.Осико

*Представлены результаты спектроскопии спонтанного комбинационного рассеяния кристаллов щелочноземельных вольфрамов. Установлена закономерность увеличения частоты и уменьшения ширины ВКР-активных мод с увеличением радиуса и массы катиона в ряду щелочноземельных (Ca, Sr, Ba) вольфрамов. Предсказано и обнаружено высокое пиковое сечение рассеяния света в кристаллах вольфрамов бария и стронция – новых перспективных средах для ВКР. Лазерные эксперименты по исследованию порога ВКР-генерации показали, что коэффициент ВКР-усиления в кристалле вольфрама бария близок к рекордному коэффициенту, наблюдаемому в широко распространенном ВКР-кристалле нитрата бария.*

**Ключевые слова:** вынужденное комбинационное рассеяние, щелочноземельные вольфраматы.

### Введение

Поиск и исследование новых эффективных нелинейных твердотельных материалов для ВКР является важной задачей лазерной физики в связи с необходимостью создания источников лазерного излучения в новых спектральных областях. Кристаллы вольфрамов являются одним из наиболее перспективных классов ВКР-активных сред. О первом наблюдении ВКР в кристалле  $\text{CaWO}_4$  сообщалось в [1]. Однако этот кристалл не нашел широкого практического применения вследствие малого коэффициента ВКР-усиления. В 1985 г. впервые в качестве ВКР-активного материала был предложен кристалл «двойного» калий-гадолиниевого вольфрама  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$  [2, 3]. Поскольку структура кристалла  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$  анизотропна, то в зависимости от направления распространения и поляризации излучения в нем возможна ВКР-генерация с частотными сдвигами 901 и 767  $\text{см}^{-1}$  [2]. Коэффициент ВКР-усиления на длине волны 1064 нм для обеих частот составил приблизительно 6 см/ГВт, что в 1.8 раза меньше, чем в кристалле  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  [4], который известен своим рекордным ВКР-усилением.

Кристаллическая структура вольфрамов позволяет вводить в них примесные ионы и затем использовать их в качестве матрицы активных лазерных элементов с нелинейным ВКР-самопреобразованием излучения в новый спектральный диапазон [5]. Целью настоящей работы являлся поиск наиболее эффективных кристаллов для ВКР среди щелочноземельных вольфрамов.

### 1. Спектроскопическое исследование кристаллов вольфрамов

В работе [6] было показано, что исследование ВКР-активной моды среды методами спектроскопии спонтан-

ного комбинационного рассеяния (СКР), а также измерение пикового и интегрального сечений рассеяния позволяют сравнивать различные материалы и предсказывать их ВКР-свойства. Исследование кристаллов вольфрамов щелочноземельных металлов  $\text{MeWO}_4$  ( $\text{Me} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$ ) проводилось на спектроскопической установке, подробно описанной в [6]. Источником возбуждения был аргоновый лазер с длиной волны генерации 488 нм. Мощность лазерного излучения в кристалле составляла  $\sim 1$  Вт. Спектр СКР регистрировался с помощью двойного спектрометра «SPEX Ramalog-1403» в направлении обратного рассеяния. Спектральное разрешение установки достигало 0.2  $\text{см}^{-1}$ . Пиковые и интегральные сечения нормировались на сечение рассеяния, наблюдаемое в кристалле алмаза толщиной 0.8 мм.

В качестве объектов исследования использовались моно- и поликристаллические образцы. Були монокристаллы  $\text{BaWO}_4$  высокого оптического качества были выращены методом Чохральского на стандартной установке «Кристалл-3М» на воздухе из платинового тигля. Затравка была ориентирована под углом  $90^\circ$  к оси четвертого порядка. Кристаллы, выращенные таким образом, имели в поперечном сечении эллипсоидную форму. Були имели длину до 70 мм и диаметр около 15 мм. Монокристаллы  $\text{CaWO}_4$  были выращены на воздухе из платинородиевых тиглей. Для проведения предварительных исследований были синтезированы поликристаллические образцы кристаллов  $\text{CaWO}_4$ ,  $\text{SrWO}_4$  и  $\text{BaWO}_4$  путем спекания смеси соответствующего карбоната  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$  и  $\text{BaCO}_3$  и оксида вольфрама  $\text{WO}_3$  в печи при температуре 1100–1200°C в течение 30–40 ч. В экспериментах по измерению сечений рассеяния использовались пластинки монокристаллов толщиной 0.8 мм.

Спектры СКР кристаллов вольфрамов  $\text{MeWO}_4$  с увеличивающимся радиусом катиона в ряду  $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Sr}^{2+} \rightarrow \text{Ba}^{2+}$  представлены на рис. 1. Видно, что каждый из них имеет узкую наиболее интенсивную линию в спектральной области 910–925  $\text{см}^{-1}$ , которая соответствует внутреннему симметричному валентному колебанию  $A_{1g}$  в тетраэдрной группе  $\text{WO}_4$ . В табл. 1 представлены рамановские частоты  $\Omega_R$  и спектральные ширины  $\Delta\Omega_R$   $A_{1g}$ -

Научный центр лазерных материалов и технологий ИОФ РАН, Россия, 117942 Москва, ул. Вавилова, 38; тел./факс: +7 (095) 135 02 67; эл. почта: basiev@lst.gpi.ru

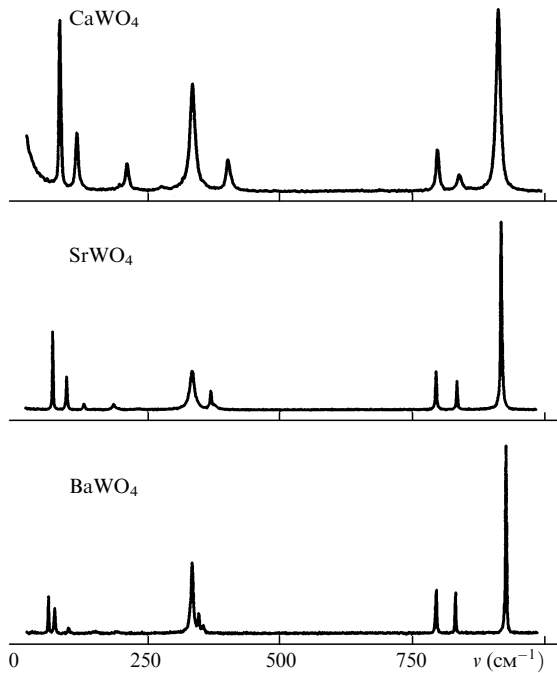


Рис.1. Спектры СКР кристаллов щелочно-галоидных вольфрамов.

моды в этих кристаллах при температурах 300 и 77 К, а также максимальная частота решеточных колебаний кристаллической матрицы  $\omega_{\text{lat}}^{\text{max}}$ . Из табл.1 следует, что увеличение радиуса и массы катиона в ряду  $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Sr}^{2+} \rightarrow \text{Ba}^{2+}$  приводит к увеличению энергии и уменьшению ширины высокочастотной  $A_{1g}$ -моды и коррелирует с уменьшением максимальной частоты решеточных колебаний.

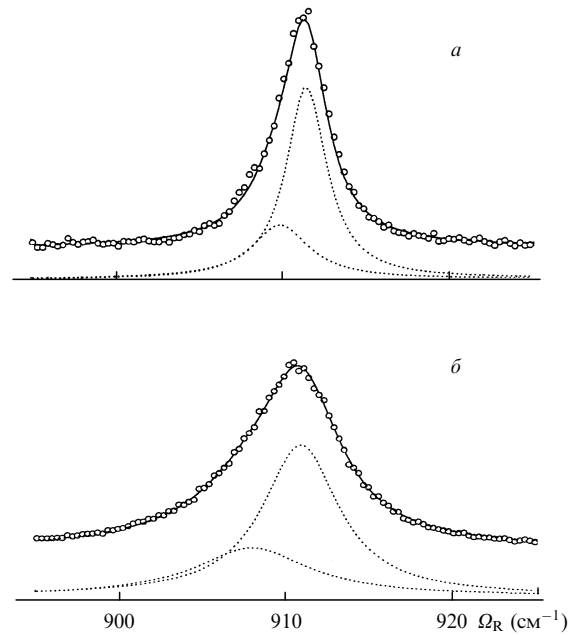
Особенностью кристалла  $\text{CaWO}_4$  явилась несимметричность спектра рассеяния ВКР-активной моды, что свидетельствует о наличии двух близко расположенных спектральных линий с частотным сдвигом около  $0.8 \text{ см}^{-1}$ . На рис.2 представлены спектры СКР  $A_{1g}$ -моды при 300 и 77 К, снятые с высоким спектральным разрешением, и их разложение на две составляющие. Исследование поляризованных спектров СКР показало, что обе компоненты высокочастотной линии в  $\text{CaWO}_4$  принадлежат симметрии  $A_{1g}$ . Расщепление  $A_{1g}$ -моды можно объяснить наличием в кристаллической структуре  $\text{CaWO}_4$  двух типов  $\text{WO}_4$ -тетраэдров, немного различающихся своим строением. Различие в строении  $\text{WO}_4$ -тетраэдров, по-видимому, обусловлено особенностью построения кристаллической решетки  $\text{CaWO}_4$  или присутствием дефектов. Несимметричность формы высокочастотной линии в спектрах СКР не связана с условиями синтеза кристаллов  $\text{CaWO}_4$ , поскольку она наблюдалась как в монокристал-

Табл.1. Спектральные параметры ВКР-активных линий спонтанного рассеяния в кристаллах щелочноземельных вольфрамов.

Кристалл	$\Omega_R \text{ (см}^{-1}\text{)}$		$\Delta\Omega_R \text{ (см}^{-1}\text{)}$		$\omega_{\text{lat}}^{\text{max}} \text{ (см}^{-1}\text{)}$
	$T=77 \text{ К}$	$T=300 \text{ К}$	$T=77 \text{ К}$	$T=300 \text{ К}$	
$\text{CaWO}_4$	911.6	911.2	3.6	6.9	274
$\text{CaWO}_4^*$	911.4	910.8	3.0	5.6	274
$\text{SrWO}_4^*$	922.2	921.5	1.45	3	240
$\text{BaWO}_4$	926.5	926	0.97	1.6	194

\*Для  $\text{CaWO}_4$  данные соответствуют максимальной линии при разложении неоднородно уширенного спектра на две компоненты.

\*\*Поликристаллический образец.

Рис.2. Спектры СКР  $A_{1g}$ -моды кристалла  $\text{CaWO}_4$  (○) при температурах 77 (а) и 300 К (б) и разложение экспериментального спектра на две лоренцевские компоненты (пунктир).

лах, выращенных из расплава при температуре  $T = 1580^\circ\text{C}$ , так и в поликристаллах, синтезированных путем спекания при более низкой температуре ( $T = 1100^\circ\text{C}$ ). Значительное неоднородное уширение ВКР-активной моды в  $\text{CaWO}_4$  как при 300 К, так и при 77 К обуславливает уменьшение пикового сечения КР и, как следствие, снижение коэффициента ВКР-усиления.

Этот недостаток отсутствует у других исследованных вольфрамов:  $\text{SrWO}_4$  и  $\text{BaWO}_4$ . Спектры спонтанного рассеяния  $A_{1g}$ -мод в этих кристаллах, измеренные при 77 и 300 К, хорошо описываются лоренцевской кривой. На рис.3 представлены спектры СКР  $A_{1g}$ -моды в кристалле  $\text{BaWO}_4$  при 77 и 300 К и их аппроксимация. Положение максимума ВКР-линии незначительно смещается в область больших частотных сдвигов, а ширины спектров при температуре 77 К уменьшаются примерно в два раза по сравнению с ширинами при 300 К. Этот факт представляет существенный интерес, т. к. показывает, что разработка криогенного ВКР-лазера может значительно повысить коэффициент ВКР-усиления и снизить порог ВКР-генерации в данных средах.

В табл.2 представлены относительные интегральные и пиковые сечения рассеяния в монокристаллах  $\text{CaWO}_4$ ,  $\text{BaWO}_4$ ,  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$  и  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  при 300 К. Видно, что при примерно одинаковом интегральном сечении рассеяния  $\Sigma_{\text{int}}$  в кристаллах  $\text{CaWO}_4$  и  $\text{BaWO}_4$  в последнем за счет четырехкратного сужения линии наблюдается соответственно четырехкратное увеличение пикового сечения рассеяния  $\Sigma_{\text{peak}}$  (до 64%), которое сравнимо с  $\Sigma_{\text{peak}}$  наиболее интенсивной линии в спектре КР в кристалле  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  (63%) и доказывает, что кристалл  $\text{BaWO}_4$  является весьма перспективным для исследования ВКР и разработки ВКР-лазеров. Хотя интегральное сечение в кристаллах вольфрамов в 2–3 раза больше, чем в кристалле нитрата бария, пиковое сечение в  $\text{CaWO}_4$  и  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$  в несколько раз меньше из-за большой ширины  $\Delta\Omega_R \sim 5-7 \text{ см}^{-1}$ . Малая ширина ВКР-линии в кристалле  $\text{BaWO}_4$  ( $\Delta\Omega_R = 1.6 \text{ см}^{-1}$ ) обеспечивает высокое пиковое сечение рассеяния  $\Sigma_{\text{peak}} = 63\%$ . В поликрист-

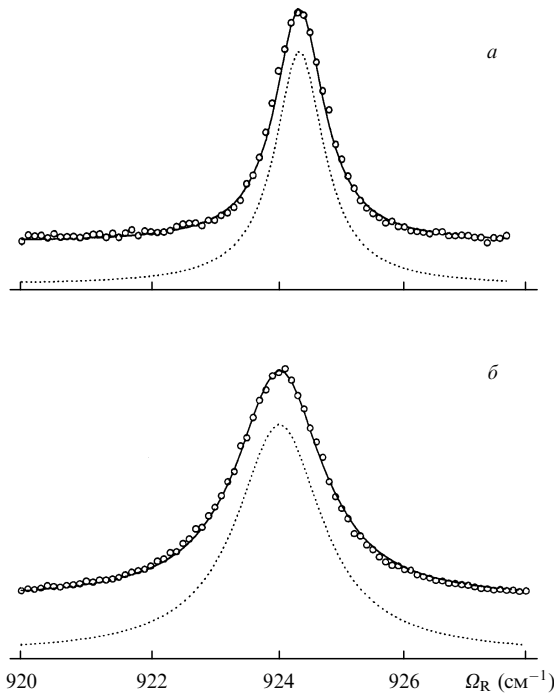


Рис.3. Спектры СКР  $A_{1g}$ -моды кристалла  $BaWO_4$  (○) при температурах 77 (а) и 300 К (б) и аппроксимация экспериментального спектра лоренцевской линией (пунктир).

таллическом образце  $SrWO_4$  наблюдается более широкая линия в спектре КР ( $\Delta\Omega_R = 3 \text{ см}^{-1}$ ). Предполагая, что интегральное сечение рассеяния  $A_{1g}$ -моды в кристаллах вольфрамов постоянно, можно оценить пиковое сечение рассеяния в  $SrWO_4$ :  $\Sigma_{\text{peak}} \sim 30\%$ . Это значение ниже, чем для кристалла  $Ba(NO_3)_2$ , но несколько выше, чем для ВКР-активных линий в кристалле  $KGd(WO_4)_2$ . Следовательно, кристалл  $SrWO_4$  также перспективен для применения в ВКР-лазерах.

## 2. ВКР-генерация в кристалле вольфрамата бария

Эксперименты по измерению порога ВКР позволяют определить реальные коэффициенты ВКР-усиления и сопоставить их для различных кристаллов. Схема экспериментальной установки представлена на рис.4. В качестве источника накачки мы использовали импульсно-периодический  $Nd^{3+} : YAG$ -лазер с пассивной модуляцией добротности при помощи кристалла  $LiF$  с  $F_2^-$ -центрами окраски, работающий в одномодовом режиме. Излучение

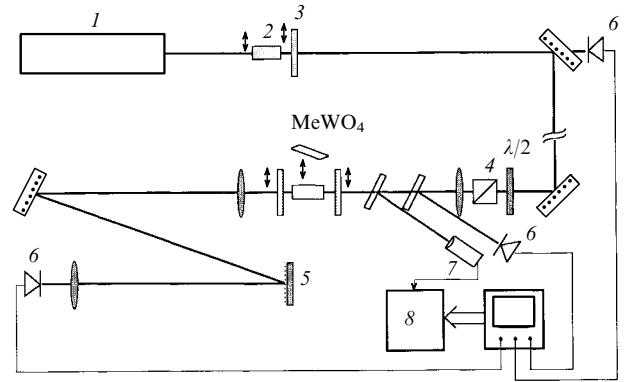


Рис.4. Экспериментальная установка для измерения порогов ВКР: 1 –  $Nd^{3+} : YAG$ -лазер с пассивным затвором; 2 – удвоитель частоты; 3 – фильтр; 4 – призма Глана; 5 – дифракционная решетка; 6 – фотодиоды; 7 – ПЗС-камера; 8 – персональный компьютер.

этого лазера усиливалось в однопроходном усилителе до энергии 20 мДж. Длительность импульсов генерации составляла 12 нс при частоте их следования 10 Гц. Для проведения экспериментов в видимой области спектра частота излучения удваивалась в кристалле КТР, при этом энергия в импульсах достигала 10 мДж. Энергия возбуждения плавно изменялась с помощью фазовой пластинки и призмы Глана. Излучение накачки фокусировалось линзой с фокусным расстоянием  $f = 50$  или 80 см в середину исследуемого образца.

Профили пучка накачки в фокальной плоскости контролировались ПЗС-камерой с размером пиксела 8.6 мкм и хорошо описывались гауссовыми распределениями с диаметрами 90 и 170 мкм на полувысоте для линз с  $f = 50$  и 80 см ( $\lambda = 1.064 \text{ мкм}$ ) и 120 мкм для линз с  $f = 80$  см ( $\lambda = 0.532 \text{ мкм}$ ). Часть возбуждающего излучения отражалась стеклянной пластинкой и направлялась на Ge-фотодиод для контроля энергии накачки. Генерируемое в исследуемом образце стоковое излучение коллимировалось линзой, затем спектрально селективировалось дифракционной решеткой и измерялось Ge-фотодиодом. С помощью цифрового запоминающего осциллографа мы одновременно и независимо измеряли энергию накачки и энергию рассеянного стокового излучения для отдельных лазерных импульсов.

Известно, что сечение рассеяния и коэффициент ВКР-усиления зависят от длины волны возбуждения. Так, в кристалле  $Ba(NO_3)_2$  для  $\lambda = 1.064 \text{ мкм}$  коэффициент усиления составил 11 см/ГВт, а для  $\lambda = 0.532 \text{ мкм}$  – 47 см/ГВт [7, 8]. В связи с этим для достижения порога ВКР в ближней ИК области необходима большая плотность

Табл.2. Параметры ВКР-активных мод в кристаллах при  $T = 300 \text{ К}$ .

Кристалл	Пространственная группа решетки	$\Omega_R \text{ (см}^{-1}\text{)}$	$\Delta\Omega_R \text{ (см}^{-1}\text{)}$	$\Sigma_{\text{int}} \text{ (%)}$	$\Sigma_{\text{peak}} \text{ (%)}$	Геометрия возбуждения рассеяния	
						$k$	$E$
Алмаз	$O_h^7$	1332.9	2.7	100	100	$\parallel C_3$	$\perp C_3$
$Ba(NO_3)_2$	$T_h^6$	1048.6	0.4	21	63	$\parallel C_4$	$\parallel C_4$
$CaWO_4$	$C_{4h}^6$	911.2	6.9	47	18	$\perp C_4$	$\parallel C_4$
$BaWO_4$	$C_{4h}^6$	926	1.6	47	64	$\perp C_4$	$\parallel C_4$
$BaWO_4$	$C_{4h}^6$	926	1.6	38	52	$\perp C_4$	$\perp C_4$
$KGd(WO_4)_2$	$C_{2h}^6$	901	5.4	54	25	$\perp C_2$	$\perp C_2$
$KGd(WO_4)_2$	$C_{2h}^6$	768	6.4	65	29	$\perp C_2$	$\parallel C_2$

Примечания: пиковое и интегральное сечения приводятся в процентах по отношению к сечениям рассеяния кристалла алмаза;  $k$  – волновой вектор;  $E$  – вектор напряженности светового поля;  $C_2, C_3, C_4$  – кристаллографические оси.

Табл.3. Пороговая энергия ВКР в исследованных кристаллах с внешним резонатором при возбуждении излучением с  $\lambda = 1.064$  мкм и фокусировке его линзой с  $f = 50$  см.

Кристалл	$L$ (мм)	$\Omega_R$ (см <sup>-1</sup> )	$W_p^{th}$ (мДж)	$G^*$ (см/ГВт)
BaWO <sub>4</sub> ( $\parallel C_4$ )	31	925	0.65	8.5
BaWO <sub>4</sub> ( $\perp C_4$ )	31	925	0.76	7.2
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	25	1047	0.65	11
KGd(WO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	36	901	0.98	4.8
KGd(WO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	26	767	1.08	4.4

\*Расчеты коэффициента ВКР-усиления  $G$  выполнены в предположении, что в кристалле Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> он равен 11 см/ГВт [8].

мощности излучения. Наши первоначальные эксперименты были проведены на длине волны 1.064 мкм.

Для того чтобы достигнуть порога ВКР в коротких кристаллах при мощностях накачки ниже оптического пробоя, исследуемые образцы помещались в резонатор длиной 9 см, состоящий из двух плоских диэлектрических зеркал: входного ( $R_{1,064} < 5\%$ ,  $R_{1,1-1.25} > 98\%$ ) и выходного ( $R_{1-1.2} \sim 55\%$ ). Ранее было показано, что использование дополнительного резонатора для ВКР-кристалла позволяет снижать пороговую энергию ВКР-генерации, причем ее зависимости от длины кристалла и коэффициента ВКР-усиления остаются обратно пропорциональными с высокой точностью [9].

На рис.5 и в табл.3 представлены экспериментальные зависимости эффективности ВКР-генерации  $\eta$  от энергии накачки  $W_p$  и пороговые энергии накачки  $W_p^{th}$  для кристаллов BaWO<sub>4</sub> (длина  $L = 31$  мм), KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (36 мм) и Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (25 мм) при фокусировке накачки линзой с  $f = 50$  см. Видно, что несмотря на несколько большую длину кристалла KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> порог ВКР в нем наблюдается при энергии накачки, почти в два раза большей, чем в кристаллах вольфрамата и нитрата бария.

В табл.3 представлены также расчетные коэффициенты ВКР-усиления  $G$  для исследованных материалов, полученные в предположении, что в кристалле Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> коэффициент  $G = 11$  см/ГВт. Видно, что кристаллы BaWO<sub>4</sub> и Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> имеют близкие коэффициенты ВКР-усиления.

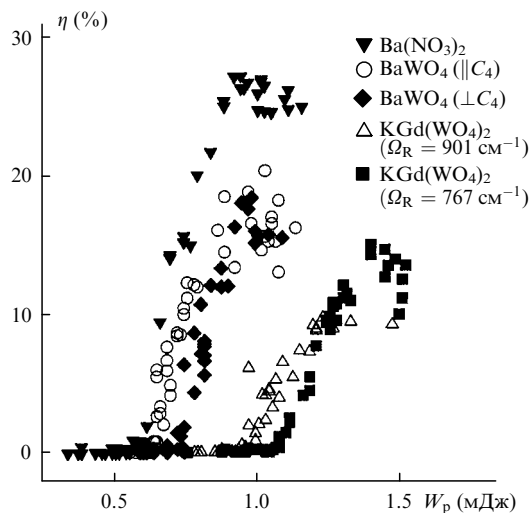


Рис.5. Зависимости эффективности стоксовой генерации  $\eta$  от энергии накачки  $W_p$  с  $\lambda = 1.064$  мкм при фокусировке накачки линзой с фокусным расстоянием  $f = 50$  см для кристаллов Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ( $L = 25$  мм), BaWO<sub>4</sub> (31 мм) и KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (36 мм), помещенных в резонатор.

Табл.4. Параметры ВКР в брьюстеровских кристаллах Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и BaWO<sub>4</sub> (без внешнего резонатора) при однопроходном возбуждении излучением с  $\lambda = 0.532$  мкм и фокусировке его линзой с  $f = 80$  см.

Кристалл	$L$ (мм)	$W_p^{th}$ (мДж)	$G$ (см/ГВт)
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	40	0.65	52
BaWO <sub>4</sub>	25	1.20	36

Провести абсолютное вычисление коэффициента ВКР-усиления в этих экспериментах было невозможно из-за сложности корректного учета резонаторных эффектов, связанных с отражением от зеркал и торцов кристаллов. Отличие коэффициента ВКР-усиления для кристалла KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (36 мм) от известного из литературы, по-видимому, связано с тем, что при фокусировке накачки линзой с  $f = 50$  см длина кристалла уже становится сравнимой с длиной перетяжки и нельзя использовать модель однородного распределения пучка накачки по всей длине кристалла.

Из рис.5 видно, что в кристалле Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> реальный КПД ВКР-преобразования излучения с  $\lambda = 1.064$  мкм достигает 26%, а в кристалле BaWO<sub>4</sub> – 20%. Видно, что в экспериментах для BaWO<sub>4</sub> еще не наблюдается насыщения преобразования и с повышением энергии накачки возможен его дальнейший рост. Дифференциальные КПД ВКР-генерации в кристаллах вольфрамата и нитрата бария составили более 75%, что позволяет предположить возможность дальнейшего повышения реального КПД за счет оптимизации условий накачки и внешнего ВКР-резонатора.

Внешний резонатор, а также отражения от торцов кристаллов сильно влияют на точность измерения порога ВКР-генерации, заметно снижая его. Чтобы исключить это влияние в экспериментах по измерению порога, нами были изготовлены кристаллы Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (40 мм) и BaWO<sub>4</sub> (25 мм) с торцами, скошенными под углом Брюстера. Для достижения порога ВКР без резонатора мы использовали накачку излучением второй гармоники Nd<sup>3+</sup>:YAG-лазера. На рис.6 представлены зависимости энергии стоксовой компоненты от энергии накачки при фокусировке накачки линзой с  $f = 80$  см, а в табл.4 приведены пороговые энергии накачки  $W_p^{th}$ . Видно, что в

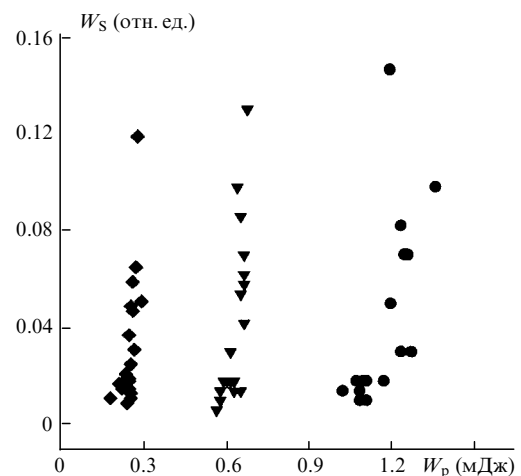


Рис.6. Зависимости энергии стоксовой компоненты  $W_S$  от энергии накачки  $W_p$  ( $\lambda = 0.532$  мкм) при фокусировке накачки линзой с фокусным расстоянием  $f = 80$  см для брьюстеровских кристаллов Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ( $L = 40$  мм, ▼) и BaWO<sub>4</sub> (25 мм, ●) и плоскопараллельного кристалла BaWO<sub>4</sub> (31 мм; ◆).

плоскопараллельном образце порог ВКР-генерации ниже, что связано с влиянием резонаторных эффектов на торцах кристалла. В брюстеровском образце  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  порог ВКР-генерации наблюдался при энергии 0.65 мДж, а в кристалле  $\text{BaWO}_4$  – при 1.20 мДж. Используя реальные пространственные и временные распределения энергии накачки этого эксперимента, мы рассчитали процесс ВКР при однопроходном усилении в отсутствие отражений. Коэффициент ВКР-усиления в кристалле  $\text{BaWO}_4$  составил 36 см/ГВт, а в  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  – 52 см/ГВт. Погрешность его определения ограничивалась флуктуациями пространственного и временного распределений энергии накачки и составляла ~20%.

Проведенные нами исследования подтверждают высказанные выше предположения о перспективности применения кристалла  $\text{BaWO}_4$  для ВКР. Следует подчеркнуть, что наряду с высоким пиковым сечением рассеяния  $\Sigma_{\text{peak}}$ , близким к сечению в  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , этот кристалл обладает также большим интегральным сечением рассеяния  $\Sigma_{\text{int}}$ , характерным для других кристаллов вольфрамов. В связи с этим можно предвидеть перспективность использования кристалла  $\text{BaWO}_4$  для ВКР-преобразования не только наносекундных, но и субнаносекундных и пикосекундных лазерных импульсов.

## Выводы

Проведенные исследования кристаллов щелочноземельных вольфрамов методами спектроскопии СКР позволили предсказать и подтвердить перспективность применения новых кристаллов вольфрамов бария и стронция для ВКР-преобразователей, ВКР-лазеров и усилителей. В лазерных экспериментах по измерению порога ВКР-генерации был получен коэффициент ВКР-усиления для вольфрамата бария, равный 36 см/ГВт (на  $\lambda = 0.532$  нм), что лишь на 20 % ниже, чем для наиболее эффективного ВКР-материала – кристалла нитрата бария. В отличие от  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , кристалл  $\text{BaWO}_4$  не является гигроскопичным и обладает высокой теплопроводностью и твердостью, что расширяет возможности его

применения для ВКР-лазеров и существенно упрощает условия их эксплуатации.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Европейского агентства аэрокосмических исследований, Агентства научных исследований и Исследовательской лаборатории US AF (контракт № F61775-99-WE024), РФФИ (грант № 98-02-16523), Фонда гражданских исследований CRDF (США) и Министерства науки РФ (грант № RP-2-514).

1. Eckhardt G. *IEEE J.Quantum Electron.*, 2, 2 (1966).
2. Иванюк А.М., Тер-Погосян М.А., Шавердов П.А., Беляев В.Д., Ермолаев В.Л., Тихонова Н.П. *Оптика и спектроскопия*, 59, 950 (1985).
3. Андрионас К., Вищакас Ю., Кабелка В., Мочалов И.В., Павлюк А.А., Петровский Г.Т., Сырус В. *Письма в ЖЭТФ*, 42, 333 (1985).
4. Zverev P.G., Basiev T.T., Osiko V.V., Kulkov A.M., Voitsekhovskii V.N., Yakobson V.E. *Optical Materials*, 11, 315 (1999).
5. Беренберг В.А., Карпунин С.Н., Мочалов И.В. *Квантовая электроника*, 14, 1848 (1987).
6. Basiev T.T., Sobol A.A., Zverev P.G., Osiko V.V., Powell R.C. *Appl. Optics*, 38, 594 (1999).
7. Еременко А.С., Карпунин С.Н., Степанов А.И. *Квантовая электроника*, 7, 196 (1980).
8. Басиев Т.Т., Войцеховский В.Н., Зверев П.Г., Карпушко Ф.В., Любимов А.В., Мирон С.Б., Морозов В.П., Мочалов И.В., Павлюк А.А., Сеницын Г.В., Якобсон В.Э. *Квантовая электроника*, 14, 2452 (1987).
9. Zverev P.G., Basiev T.T., Prokhorov A.M. *Optical Materials*, 11, 335 (1999).

**P.G.Zverev, T.T.Basiev, A.A.Sobol', V.V.Skornyakov, L.I.Ivleva, N.M. Polozkov, V.V.Osiko. Stimulated Raman scattering in alkali-earth tungstate crystals.**

Results on spontaneous Raman spectroscopy of alkali-earth tungstate crystals are presented. The frequency of SRS-active modes was found to increase and their width to decrease with increasing cation radius and mass in the series of alkali-earth (Ca, Sr, Ba) tungstates. High peak values of the Raman scattering cross section for barium and strontium tungstate crystals – new media offering promise for SRS – were predicted and observed in the experiments. Laser experiments on the study of the SRS threshold showed that the SRS gain for the barium tungstate crystal was close to the record value observed for the barium nitrate crystal, which is extensively used for SRS.