

Лазеры на кристаллах ванадатов с σ -поляризацией генерируемого излучения

А.А.Сироткин, В.И.Власов, А.И.Загуменный, Ю.Д.Заварцев, С.А.Кутовой

Экспериментально исследованы люминесцентные и генерационные свойства кристаллов ванадатов $Nd: YVO_4$, $Nd: GdVO_4$, $Nd: Gd_{1-x}Y_xVO_4$ и $Nd: Sc_{1-x}Y_xVO_4$, вырезанных вдоль оси a , на переходе ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$ для π - и σ -поляризаций. Исследованы поляризационные зависимости генерации $Nd: YVO_4$, $Nd: Gd_{1-x}Y_xVO_4$ и $Nd: Sc_{1-x}Y_xVO_4$ -лазеров в режиме пассивной модуляции с затворами из $Cr^{4+}: YAG$ и $V^{3+}: YAG$. Показано, что при изменении π -поляризации на σ -поляризацию изменяется длина волны генерируемого излучения. Наилучшие характеристики достигнуты для $Nd: YVO_4$ -лазера в режиме пассивной модуляции с затворами из $Cr^{4+}: YAG$ для σ -поляризации (минимальная длительность импульса менее 3 нс, максимальная пиковая мощность до 10 кВт, максимальная пиковая энергия ~ 35 мкДж при дифференциальной эффективности до 32% и поляризованном излучении).

Ключевые слова: ванадаты $Nd: YVO_4$, $Nd: GdVO_4$, $Nd: Gd_{1-x}Y_xVO_4$ и $Nd: Sc_{1-x}Y_xVO_4$, люминесцентные и генерационные свойства, π - и σ -поляризации излучения.

1. Введение

Кристаллы ванадатов YVO_4 [1], $GdVO_4$ [2], $Nd: Gd_{1-x}Y_xVO_4$ [3] и $Nd: Sc_{1-x}Y_xVO_4$ [4] являются прекрасными материалами для создания лазеров с диодной накачкой. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими распространёнными в настоящее время кристаллами $Nd: YAG$ и $Nd: YLF$ – большими сечениями поглощения и вынужденного излучения и широкими линиями поглощения накачки. Сочетание спектральных и механических свойств этих кристаллов приводит к высокой эффективности лазеров, работающих в непрерывном режиме. Анизотропия кристаллической решётки ванадатов позволяет получать поляризованное излучение, а высокая теплопроводность способствует лучшему охлаждению активной среды.

Большинство известных работ посвящено использованию кристаллов ванадатов, вырезанных вдоль оси a , на переходе ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$ при π -поляризации ($E||c$) лазерного излучения, поскольку в этом случае наблюдается наибольшее усиление. С другой стороны, большое сечение вынужденного излучения при σ -поляризации является серьёзным недостатком, осложняющим работу лазера в режиме пассивной модуляции добротности с широко используемыми насыщающимися поглотителями $Cr^{4+}: YAG$ и $V^{3+}: YAG$. Большое усиление активной среды в этом случае ограничивает накопление инверсии, в результате чего энергия генерируемого импульса и пиковая мощность снижаются. Различие свойств кристаллов ванадатов вдоль разных осей позволяет при необходимости выбирать направления, вдоль которых сечения уси-

ления не слишком велики. Для этого применяются кристаллы, вырезанные вдоль оси C [5, 6], или используется σ -поляризация ($E \perp c$) генерируемого излучения [7]. Обойти трудности, связанные с большими сечениями вынужденного излучения, позволяет также использование смешанных ванадатов типа $Nd: Y_xGd_{1-x}VO_4$ [8, 9].

Широкое использование анизотропных свойств ванадатов требует уточнения их спектральных свойств. Приведённые в литературе спектры люминесценции для кристаллов ванадатов, вырезанных вдоль оси a , на переходе ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$ в случае σ -поляризации значительно отличаются друг от друга [10–22]. Характерной особенностью многих из них является положение абсолютных максимумов в спектрах люминесценции на переходе ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$ для π - и σ -поляризаций. Кроме того очевидно, что форма спектра для кристаллов ванадатов, вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации должна совпадать с формой спектров для кристаллов, вырезанных вдоль оси c [23, 24], поскольку и в том и другом случае поле E перпендикулярно оси C ($E \perp c$). Уточнение спектров люминесценции имеет, кроме фундаментального, и чисто практический интерес. При совпадении положений абсолютных максимумов в спектрах люминесценции в случае π - и σ -поляризаций становится возможным усиление σ -поляризованных импульсов в направлении π -поляризации. При несовпадении возможна реализация простых схем для получения двухчастотной генерации с ортогональными поляризациями [25, 26].

Цель настоящей работы – проведение экспериментальных исследований люминесцентных свойств кристаллов ванадатов $Nd: YVO_4$, $Nd: GdVO_4$, $Nd: Gd_{1-x}Y_xVO_4$ и $Nd: Sc_{1-x}Y_xVO_4$, вырезанных вдоль оси a , на переходе ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$ при π - и σ -поляризациях для уточнения длин волн генерируемого излучения лазеров, в которых используется σ -поляризация, и для получения двухчастотной генерации. Кроме того, сравнивались генерационные характеристики лазеров на основе кристаллов ванадатов с диодной накачкой при различных поляризациях излу-

А.А.Сироткин, В.И.Власов, А.И.Загуменный, Ю.Д.Заварцев, С.А.Кутовой. Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: saa@kapella.gpi.ru

Поступила в редакцию 27 января 2011 г., после доработки – 12 апреля 2011 г.

чения и выявлялась возможность реализации на их основе эффективных режимов пассивной модуляции с пассивными затворами из $\text{Cr}^{4+} : \text{YAG}$ и $\text{V}^{3+} : \text{YAG}$.

2. Исследования люминесцентных параметров кристаллов ванадатов, вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации

Для уточнения длин волн генерируемого излучения лазеров на кристаллах ванадатов с σ -поляризацией нами экспериментально исследовались спектры люминесценции кристаллов ванадатов $\text{Nd} : \text{YVO}_4$, $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$, $\text{Nd} : \text{Gd}_{1-x}\text{Y}_x\text{VO}_4$ и $\text{Nd} : \text{Sc}_{1-x}\text{Y}_x\text{VO}_4$, вырезанных вдоль оси a , на переходе ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{11/2}$ при π - и σ -поляризациях.

Кристаллы были выращены в Институте общей физики РАН методом Чохральского. Спектроскопические характеристики лазерных кристаллов исследовались с помощью спектрометра на основе автоколлимационной трубы УФ-90 (обратная линейная дисперсия 0.1 нм/мм) с линейным многоканальным фотоприемником TOSHIBA TCD130JK. В стандартную схему измерения люминесценции была добавлена призма Глана, расположенная так, чтобы направление поляризации прошедшего излучения совпадало с направлением щели спектрометра, и диафрагма, ограничивающая угол принимаемого излучения до 1° . Для возбуждения кристаллов использовалась система лазерной диодной накачки LIMO HLU30F200 с волоконным выводом (деполяризованное излучение) и максимальной мощностью излучения на длине волны 808 нм до 10 Вт. Излучение накачки фокусировалось в кристалле в пятно диаметром 400–600 мкм.

На рис. 1 приведены нормированные фрагменты спектров люминесценции кристаллов ванадатов $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$, $\text{Nd} : \text{YVO}_4$, а также $\text{Nd} : \text{Gd}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{VO}_4$ и $\text{Nd} : \text{Sc}_{0.011}\text{Y}_{1.003}\text{V}_{0.986}\text{Y}_1\text{O}_{3.986}$ на переходах ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{11/2}$, вырезанных вдоль оси a , для π - и σ -поляризаций. Видно, что спектры люминесценции этих кристаллов существенно различаются.

У кристаллов $\text{Nd} : \text{YVO}_4$, $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$, а также $\text{Nd} : \text{Gd}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{VO}_4$ и $\text{Nd} : \text{Sc}_{1-x}\text{Y}_x\text{VO}_4$, вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации абсолютные максимумы люминесценции перераспределены в длинноволновую область, поэтому длины волн в лазерах на этих кристаллах должны отличаться от длин волн излучения лазеров, работающих при π -поляризации.

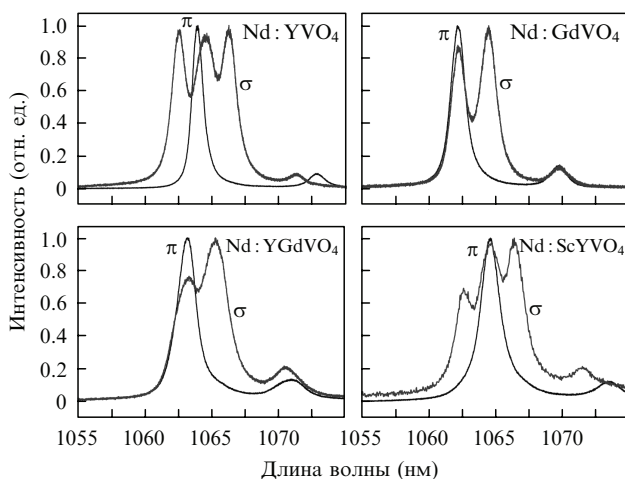


Рис. 1. Фрагменты спектров люминесценции на переходе ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{11/2}$ кристаллов, вырезанных вдоль оси a , при π - и σ -поляризациях.

Интенсивности линий люминесценции при σ -поляризации в смешанных ванадатах зависят от соотношений концентраций Y, Gd и Sc. Изменение соотношения ($\text{Gd}_{1-x}\text{Y}_x$ или $\text{Sc}_{1-x}\text{Y}_x$) приводит к трансформации контура усиления в области длин волн 1063–1066 нм. При этом спектр более чем в 1.5 раза шире, чем у GdVO_4 и YVO_4 при π -поляризации. Для кристаллов $\text{Nd} : \text{Gd}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{VO}_4$ и $\text{Nd} : \text{Sc}_{0.011}\text{Y}_{1.003}\text{V}_{0.986}\text{Y}_1\text{O}_{3.986}$ измеренные нами положения абсолютных максимумов люминесценции в области генерации составляют 1065.4 и 1066.1 нм, а ее полуширины – 4.2 и 5.4 нм соответственно. Такие уширенные полосы люминесценции позволяют реализовать дополнительные функциональные возможности лазеров на основе кристаллов ванадатов, вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации.

Необходимо отметить, что спектры люминесценции кристаллов ванадатов, вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации в точности совпадают со спектрами кристаллов, вырезанных вдоль оси C , которые были измерены нами ранее в [23, 24]. Поэтому все возможности для лазеров на основе кристаллов ванадатов, вырезанных вдоль оси C [23, 24], могут быть реализованы и при σ -поляризации генерируемого излучения. Это и получение новых длин волн излучения, и непрерывная перестройка по частоте, и получение двухчастотного излучения для терагерцевых приложений, и сокращение длительности импульсов излучения до сотен фемтосекунд. Кроме того, различие длин волн при π - и σ -поляризациях позволяет создать двухчастотные лазеры с ортогональными поляризациями, что важно для последующего преобразования излучения в терагерцевый диапазон длин волн, например в кристаллах GaSe.

3. Исследования генерационных свойств активных сред на основе кристаллов ванадатов, вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации

В наших экспериментах исследовалась лазерная генерация для кристаллов ванадатов $\text{Nd} : \text{YVO}_4$, $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$, $\text{Nd} : \text{Gd}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{VO}_4$ и $\text{Nd} : \text{Sc}_{0.011}\text{Y}_{1.003}\text{V}_{0.986}\text{Y}_1\text{O}_{3.986}$, вырезанных вдоль оси a , на переходе ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{11/2}$ при π - и σ -поляризациях как в непрерывном режиме, так и в режиме с пассивной модуляцией добротности.

В случае работы при σ -поляризации является необходимым использование селективирующих устройств для её отделения от π -поляризации, для которой сечение люминесценции в пять раз больше. С этой целью мы использовали схему, основанную на двулучепреломлении кристаллов ванадатов (рис. 2). Активный элемент (АЭ) лазера изготавливался в виде призмы со скошенной на

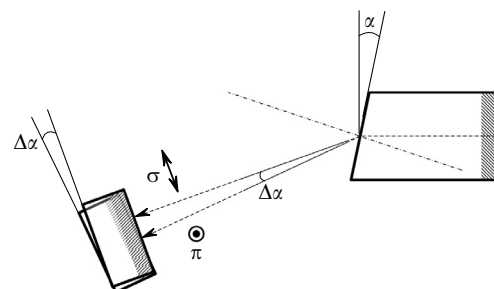


Рис. 2. Схема резонатора для разделения π - и σ -поляризаций излучения.

1.5–2° передней гранью. Из-за различия в показателях преломления n_o и n_e направления распространения обыкновенной и необыкновенной волн вне кристалла различаются на $\Delta\alpha \approx a(n_o - n_e)$, где α – угол наклона передней грани. Если $\alpha = 2^\circ$, то $\Delta\alpha = 25'$ (для Nd:YVO₄ $n_o = 1.9573$, $n_e = 2.1652$ на длине волны 1064 нм). Генерация обыкновенной или необыкновенной волны соответствует π - или σ -поляризации генерируемого излучения. В резонаторе с плоскими зеркалами и со скошенным кристаллом достаточно повернуть выходное зеркало на угол $\Delta\alpha$, чтобы перейти от π - к σ -поляризации и наоборот.

В качестве лазерных АЭ мы использовали вырезанные вдоль оси a кристаллы ванадатов Nd:YVO₄, Nd:GdVO₄, Nd:Gd_{0.7}Y_{0.3}VO₄ и Nd:Sc_{0.011}Y_{1.003}V_{0.986}Y₁O_{3.986} с атомной концентрацией ионов неодима 0.5% и размерами 4 × 4 × 6 или 4 × 4 × 8 мм. Одна из граней АЭ была скошена на угол 1.5–2° и обе грани просветлены на длины волн 1064 и 808 нм ($R \approx 0.02\%$).

Лазерный кристалл был смонтирован с прокладкой из индиевой фольги в медный блок, охлаждаемый водой. Для накачки кристалла использовалась система лазерной диодной накачки LIMO HLU30F200 с волоконным выводом (диаметр волокна 200 мкм, числовая апертура NA = 0.22) и максимальной мощностью излучения до 30 Вт. Излучение накачки фокусировалось в АЭ в пятно диаметром от 250 до 400 мкм.

Резонатор лазера был образован глухим плоским зеркалом (высокоотражающее диэлектрическое покрытие на длину волны 1064 нм, просветленное на длину волны излучения накачки 808 нм) и плоским выходным зеркалом (коэффициент пропускания $T = 4.8\%$ и 8% на основной частоте).

В лазерах с таким резонатором (рис.3) для кристаллов ванадатов, вырезанных вдоль оси a , на переходе $^4F_{3/2} - ^4I_{11/2}$ при π - и σ -поляризациях была зарегистрирована генерация с различными длинами волн, которые коррелировали с полученными спектрами люминесценции. Данные эксперименты подтвердили правильность регистрации спектров люминесценции кристаллов, вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации.

В неселективном резонаторе генерируется излучение, соответствующее максимуму усиления, поэтому, как следует из рис.1, лазер на кристалле Nd:GdVO₄, вырезанном вдоль оси a , в случае σ -поляризации генерирует излучение на длине волны 1065.5 нм, а при π -поляризации – на длине волны 1063.2 нм. Для кристаллов Nd:YVO₄ и Nd:Sc_{0.011}Y_{1.003}V_{0.986}Y₁O_{3.986} (см. рис.1), вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации генерируется излучение на длине волны 1066.1 нм, а в случае π -поляризации – на длине волны 1064.1 нм. Для кристалла Nd:Gd_{0.7}Y_{0.3}VO₄ длина волны генерации при σ -поляризации составляет

1065.4 нм. При повороте зеркала изменялась как поляризация, так и длина волны генерируемого излучения.

Для плавной перестройки частоты излучения лазеров на кристаллах ванадатов, вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации селективирующим элементом служил внутрирезонаторный интерферометр Фабри – Перо (см. рис.3), представляющий собой плоскопараллельную пластинку толщиной около 80 мкм из кристалла YAG с покрытиями с $R = 60\%$. Аналогично [23, 24] были реализованы перестройка и двухчастотная генерация излучения для кристаллов иттриевого (Nd:YVO₄), гадолиниевого (Nd:GdVO₄) и смешанных (Nd:Gd_{0.7}Y_{0.3}VO₄ и Nd:Sc_{1-x}Y_xVO₄) ванадатов, вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации.

4. Пассивная модуляция добротности лазеров на основе кристаллов ванадатов, вырезанных вдоль оси a , при σ -поляризации

Анализ работы лазера с пассивной модуляцией добротности проведен в [27, 28]. Качество работы пассивного затвора в лазере позволяет оценить следующее соотношение:

$$\frac{\ln(1/T_0^2)}{\ln(1/T_0^2) + \ln(1/R) + L} \frac{\sigma_{gs}}{\sigma} \frac{A}{A_s} \gg \frac{\gamma}{1 - \beta}, \quad (1)$$

где R – коэффициент отражения выходного зеркала; T_0 – начальное пропускание затвора; L – оптические потери в резонаторе; A/A_s – отношение эффективных площадей перетяжек пучка в активной среде и в модуляторе; σ_{gs} – сечение поглощения из основного состояния пассивного затвора; σ – сечение стимулированного излучения активной среды; β – отношение сечения поглощения из основного состояния к сечению поглощения из возбужденного состояния в пассивном затворе; γ – инверсионный коэффициент.

Для лазера на основе иона Nd³⁺ с пассивными затворами из Cr⁴⁺:YAG или V³⁺:YAG правую часть неравенства можно считать близкой к единице, поскольку для четырехуровневых схем $\gamma = 1$. Для иона Cr⁴⁺ в кристалле YAG имеем $\beta \sim 1/7$ (для V³⁺ в YAG это отношение еще меньше, 1/21). Отношение

$$\frac{\ln(1/T_0^2)}{\ln(1/T_0^2) + \ln(1/R) + L}$$

характеризует пассивные свойства резонатора и заведомо меньше единицы. Таким образом, отношение сечений поглощения σ_{gs}/σ показывает возможность использования активной среды в схеме с пассивной модуляцией. В табл.1 приведены сечения стимулированного излучения и

Табл.1. Сечения стимулированного излучения σ и отношения σ_{gs}/σ для различных кристаллов.

Кристалл	Поляризация	σ (10 ⁻¹⁹ см ²)	σ_{gs}/σ	
			Пассивный затвор из Cr ⁴⁺ :YAC	V ³⁺ :YAC
Nd:YAG		2.8	11.4	10.7
Nd:YVO ₄	π	14 [11]	2.6	24
	σ	2.8 [11]	9	8.7
Nd:GdVO ₄	π	10.3 [17]	3.1	2.9
	σ	2.1 [17]	15.2	14.3

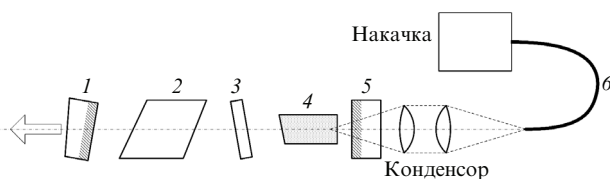


Рис.3. Схема наносекундного Nd³⁺:YVO₄-лазера с пассивной и активной модуляциями добротности:

1, 5 – зеркала резонатора; 2 – пассивный (активный) модулятор добротности; 3 – интерферометр Фабри – Перо; 4 – активный элемент; 6 – волокно диаметром 200 мкм.

отношения σ_{gs}/σ для кристалла Nd:YAG, а также для кристаллов Nd:YVO₄ и Nd:GdVO₄ в случае π - и σ -поляризаций.

Видно, что при π -поляризации отношение σ_{gs}/σ для кристаллов Nd:YVO₄ и Nd:GdVO₄ мало, так что неравенство (1) обеспечить трудно. Это обусловлено тем, что для получения приемлемых характеристик лазера на основе кристаллов с малым отношением σ_{gs}/σ необходимо увеличить отношение A/A_s , т.е. уменьшить перетяжку пучка на кристалле пассивного затвора при увеличении сечения моды накачки, что не всегда возможно. В то же время при σ -поляризации генерируемого излучения неравенство выполняется значительно лучше, а это указывает на возможность работы лазера в приемлемом режиме.

С целью создания эффективных импульсных Nd:YVO₄-, Nd:GdVO₄-, Nd:Gd_{1-x}Y_xVO₄- и Nd:Sc_{1-x}Y_xVO₄-лазеров, а также сокращения длительности импульсов были проведены исследования режима пассивной модуляции добротности при π - и σ -поляризациях в случае затворов из Cr⁴⁺:YAG и V³⁺:YAG.

Для сокращения объема экспериментального материала ниже приведены результаты только для Nd:YVO₄-лазеров с пассивными затворами из кристаллов Cr⁴⁺:YAG и V³⁺:YAG.

В наших экспериментах использовалась схема лазера со скошенным кристаллом (см. рис.2) и пассивным модулятором, расположенным вблизи выходного зеркала. Активный элемент Nd³⁺:YVO₄-лазера и система накачки описаны выше. Для импульсного режима Nd³⁺:YVO₄-лазера в качестве пассивного затвора использовались кристаллы Cr⁴⁺:YAG с начальными пропусканиями 90%, 81% и 76% на длине волны 1.06 мкм. Оптимальные начальное пропускание модулятора и пропускание выходного зеркала составляли 81% и 75% соответственно, длина резонатора была равна ~20 мм.

На рис.4 приведены энергетические зависимости для Nd³⁺:YVO₄-лазера в непрерывном и импульсном режи-

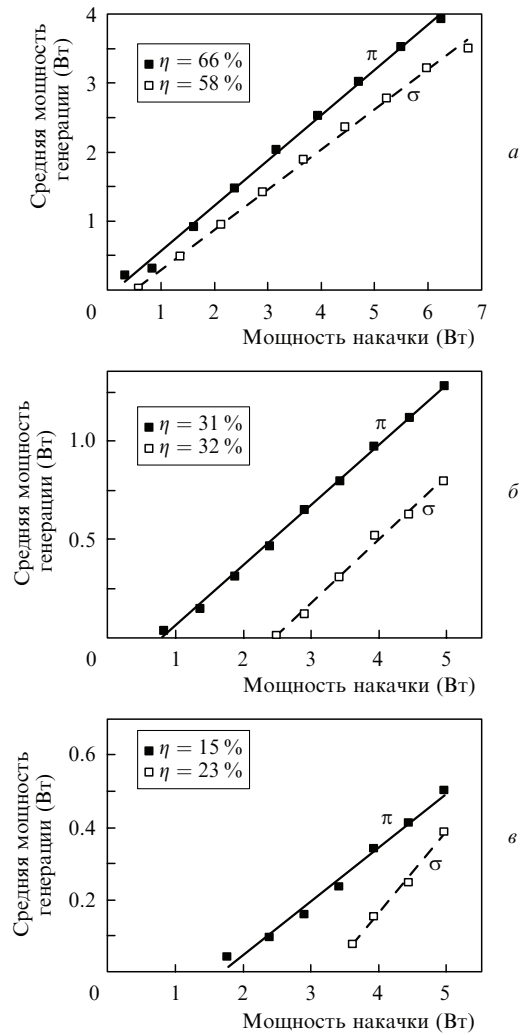


Рис.4. Средняя мощность излучения Nd:YVO₄-лазера в непрерывном режиме (а) и в импульсном режиме с пассивными затворами из Cr⁴⁺:YAG (б) и V³⁺:YAG (в).

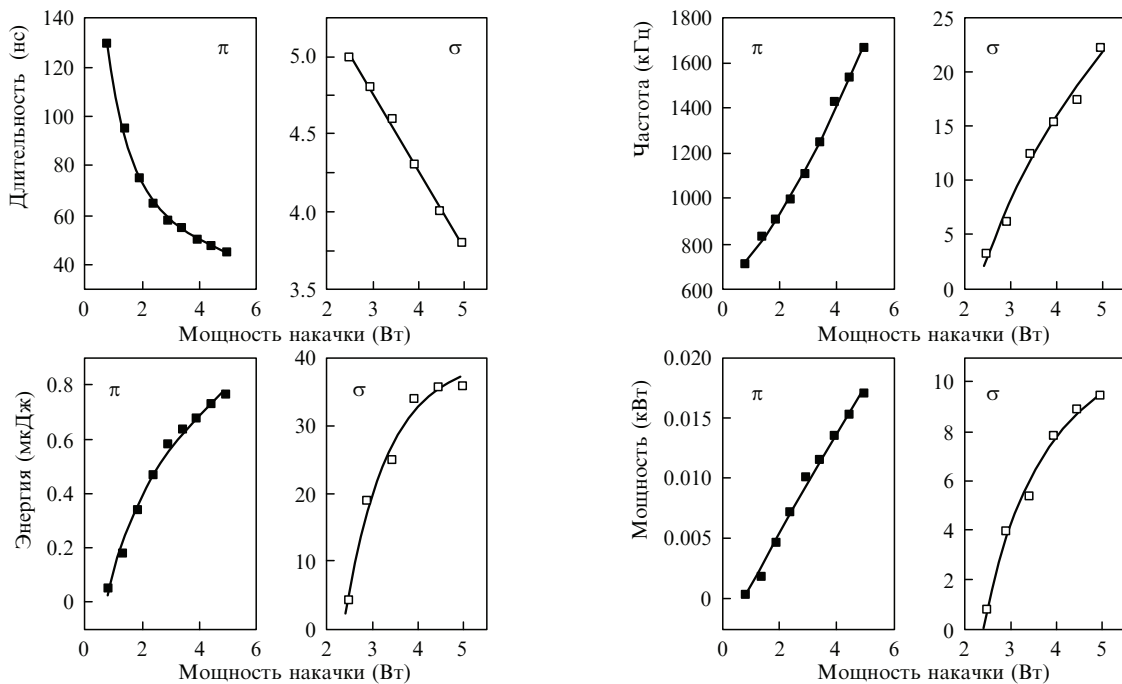


Рис.5. Зависимости длительности, частоты следования, энергии и мощности импульсов Nd:YVO₄-лазера с пассивным Cr⁴⁺:YAG-затвором при π - и σ -поляризациях выходного излучения от поглощенной мощности накачки.

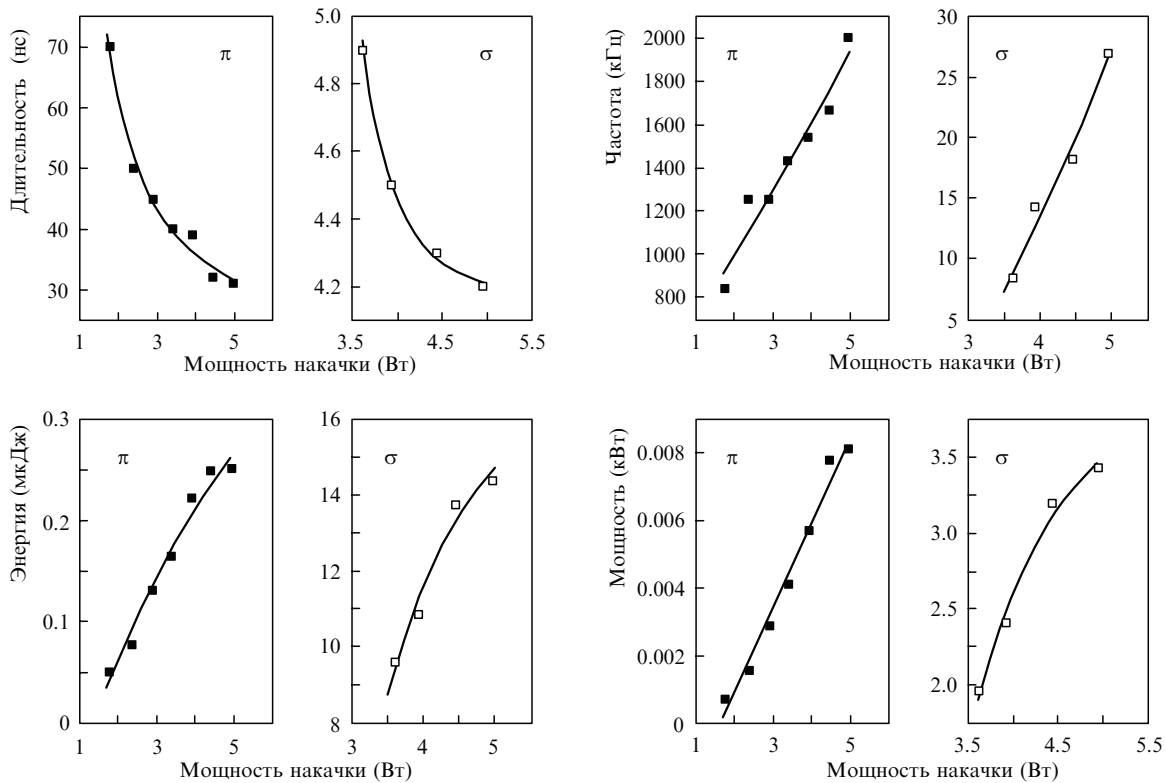


Рис.6. Зависимости длительности, частоты следования, энергии и мощности импульсов Nd : YVO₄-лазера с пассивным V³⁺ : YAG-затвором при π - и σ -поляризациях выходного излучения от поглощенной мощности накачки.

мах генерации при использовании пассивных затворов из Cr⁴⁺ : YAG и V³⁺ : YAG. Видно, что при π -поляризации порог генерации существенно ниже, а эффективность выше, чем при σ -поляризации. Это является следствием различия в сечениях вынужденного излучения с π - и σ -поляризациями. Дифференциальная эффективность для σ -поляризации достигала 58 % и 32 % для непрерывного и импульсного режимов соответственно.

На рис.5 представлены результаты измерений характеристик (длительность импульса, частота следования импульсов, энергия в импульсе и пиковая мощность) излучения Nd : YVO₄-лазера с Cr⁴⁺ : YAG-затвором, генерируемого при π - и σ -поляризациях в режиме пассивной модуляции добротности.

В случае σ -поляризации лазер генерирует устойчивую последовательность импульсов со стабильными амплитудой и частотой практически во всем диапазоне накачек. Минимальная длительность импульса достигала 3.5 нс при частоте следования 15–20 кГц, импульсная мощность превышала 9 кВт, энергия в импульсе – 35 мкДж. При π - поляризации длительность и частота следования импульсов были нестабильными и различались более чем на порядок.

На рис.6 представлены аналогичные результаты для Nd : YVO₄-лазера с затвором из V³⁺ : YAG. Начальное поглощение модулятора составляло 25 %, пропускание выходного зеркала – 25 %. Как и в случае Cr⁴⁺ : YAG-затвора, Nd : YVO₄-лазер с пассивным затвором из V³⁺ : YAG при σ -поляризации генерирует устойчивую последовательность импульсов со стабильными амплитудой и частотой практически во всем диапазоне накачек. Минимальная длительность импульса составила 4 нс при частоте следования 22 кГц. При поглощенной мощности накачки около 5 Вт средняя мощность излучения дости-

гала 0.4 Вт, импульсная – около 3.5 кВт, максимальная энергия в импульсе превышала 15 мкДж. При π -поляризации генерировалась нестабильная хаотичная последовательность импульсов, средняя длительность и частота которых были на порядок больше, чем при σ -поляризации.

Аналогичные результаты получены на переходе $^4F_{3/2} - ^4I_{11/2}$ и для кристаллов ванадатов Nd : GdVO₄, Nd : Gd_{1-x}Y_xVO₄ и Nd : Sc_{1-x}Y_xVO₄, вырезанных вдоль оси *a*, при π - и σ -поляризациях в режиме пассивной модуляции с затворами из Cr⁴⁺ : YAG и V³⁺ : YAG.

5. Заключение

Проведены экспериментальные исследования люминесцентных и генерационных свойств кристаллов ванадатов Nd : YVO₄, Nd : GdVO₄, Nd : Gd_{1-x}Y_xVO₄ и Nd : Sc_{1-x}Y_xVO₄, вырезанных вдоль оси *a*, на переходе $^4F_{3/2} - ^4I_{11/2}$ при π - и σ -поляризациях. Показано, что в случае изменения π -поляризации на σ -поляризацию изменяются длины волн генерируемого излучения.

Исследованы поляризационные зависимости генерации Nd : YVO₄-, Nd : Gd_{1-x}Y_xVO₄- и Nd : Sc_{1-x}Y_xVO₄-лазеров в режиме пассивной модуляции с затворами из Cr⁴⁺ : YAG и V³⁺ : YAG. Наилучшие характеристики лазера достигнуты при использовании σ -поляризации (минимальная длительность импульса менее 3 нс, максимальная пиковая мощность до 10 кВт, максимальная пиковая энергия около 35 мкДж при дифференциальной эффективности до 32 % для поляризованного излучения).

1. O'Connor J.R. *Appl. Phys. Lett.*, **9**, 407 (1966).
2. Загуменный А.И., Остроумов В.Г., Щербаков И.А., Йенсен Т., Мейен Я.П., Хубер Г. *Квантовая электроника*, **19**, 1149 (1992).

3. Qin L., Meng X., Du Ch., Zhu L., Xu B., Shao Z., Liu Zh., Fang Q., Cheng R. *J. Alloys Comp.*, **354**, 259 (2003).
4. Zagumennyi A.I., Kutovoi S.A., Sirotkin A.A., Kutovoi A.A., Vlasov V.I., Iskhakova L.D., Zavartsev Y.D., Luthy W., Feurer T. *Appl Phys B*, **99**, 159 (2010).
5. Chen Y.-F., Lan Y.P. *Appl. Phys. B*, **74**, 415 (2002).
6. Jie L., Yang J., He J. *Opt. Commun.*, **219**, 317 (2003).
7. Ng S.P., Tang D.Y., Qin L.J., Meng X.L., Xiong Z.J. *Appl. Opt.*, **45**, 26 (2006).
8. Liu J., Wang Zh., Meng X., Shao Z., Ozygus B., Ding A., Weber H. *Opt. Lett.*, **28**, 23 (2003).
9. Qin L.J., Ng S.P., Tang D.Y., Jia Y.G., Xu H.Zh., Meng X.L., Han B.Q. *J. Cryst. Growth*, **281**, 508 (2005).
10. Jensen T., Ostroumov V. G., Meyn J.-P., Huber G., Zagumennyi A.I., Shcherbakov I.A. *Appl. Phys. B*, **58**, 373 (1994).
11. Turri G., Jenssen H. P., Cornacchia F., Tonelli M., Bass M. *J. Opt. Soc. Am. B*, **26**, 2084 (2009).
12. Peterson R.D., Jenssen H.P., Cassanho A., in *OSA TOPS Advanced Solid State Lasers (ASSL) Conf.* (Washington, DC: OSA, 2002, vol. 68, paper TuB17).
13. Czeranowsky C. *Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades des Fachbereichs Physik* (Hamburg: der Universitat Hamburg, 2002).
14. Sato Y., Taira T. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, 5999 (2002).
15. Sato Y., Taira T. *IEEE J. Quantum Electron.*, **11**, 613 (2005).
16. Zhang Z., Tan H.M., Gao L.L., Wang B.S., Miao J.G., Peng J.Y. *Opt. Commun.*, **267**, 487 (2006).
17. Sato Y., Pavel N., Taira T., in *OSA TOPS on Advanced Solid-State Photonics* (Washington, DC: OSA, 2004, vol. 94, p. 405).
18. Yaney P.P., DeShazer L. G. *J. Opt. Soc. Am.*, **66** (12), 1405 (1976).
19. Tanner P.A. *Chem. Phys. Lett.*, **152** (2-3), 140 (1988).
20. Zundu L., Yidong H. *J. Phys. Condens. Matter*, **6**, 3737 (1994).
21. Zhang H., Meng X., Zhu L., Liu J., Wang Ch., Shao Z. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38**, L1231 (1999).
22. Ng S.P., Tang D.Y., Qin L.J., Meng X.L., Xiong Z.J. *Appl. Opt.*, **45** (26), 6792 (2006).
23. Власов В.И., Гарнов С.В., Заварцев Ю.Д., Загуменный А.И., Кутовой С.А., Сироткин А.А., Щербаков И.А. *Квантовая электроника*, **37**, 938 (2007).
24. Sirotkin A.A., Garnov S.V., Zagumennyi A.I., Zavartsev Yu.D., Kutovoi S.A., Vlasov V.I., Labio L. Di, Lüthy W., Feurer T., Shcherbakov I.A. *Laser Phys.*, **19** (5), 1083 (2009).
25. Tan W.D., Tang D.Y., Xu C.W., Zhang J., Yu H.H., Zhang H.J. *Appl. Phys. B*, Online First (2009).
26. Wu B., Jiang P., Yang D., Chen T., Kong J., Shen Y. *Opt. Express*, **17**, 6004 (2009).
27. Xiao G., Bass M. *IEEE J. Quantum Electron.*, **33**, 41 (1997).
28. Degnan J.J. *IEEE J. Quantum Electron.*, **31**, 1890 (1995).