

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **041501**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.10.31**

(21) Номер заявки  
**202100166**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.04.19**

(51) Int. Cl. **H01S 3/10** (2006.01)  
**G02F 1/39** (2006.01)  
**H01S 3/091** (2006.01)  
**H01S 3/117** (2006.01)  
**H01S 3/16** (2006.01)

---

(54) **ЛАЗЕРНЫЙ ИСТОЧНИК ИК ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ, АКТИВИРОВАННЫХ  $Cr^{2+}$ , С АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ**

---

(43) **2022.10.26**

(96) **2021000042 (RU) 2021.04.19**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ,  
ОТ ИМЕНИ КОТОРОЙ  
ВЫСТУПАЕТ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
КОРПОРАЦИЯ ПО  
КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
"РОСКОСМОС" (RU)**

(56) US-A1-20100246610  
US-A1-20070064748  
WO-A1-2019224822  
RU-U1-164950

(72) Изобретатель:  
**Антипов Олег Леонидович,  
Гетмановский Юрий Андреевич,  
Еранов Илья Дмитриевич (RU)**

(74) Представитель:  
**Горбановский Н.Г. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к устройствам для генерирования светового излучения в непрерывном, импульсном и импульсно-периодическом режимах и касается лазерных источников ИК диапазона с перестраиваемой длиной волны. Лазер 1 на активном элементе из  $Cr^{2+}:ZnSe$ , оптически связанный с усилителем 2 на  $Cr^{2+}:ZnSe$ , изготовлен с возможностью перестройки длины волны выходного излучения в диапазоне 2,3-2,7 мкм, перестройка осуществляется электронно-управляемым акустооптическим фильтром 4. В качестве задающего генератора 3 служит импульсно-периодический лазер на кристалле  $Ho:YAG$ , излучение которого делится с помощью полуволновой пластины 6 и поляризационного делителя 7 на два пучка. Одна часть излучения задающего генератора 3 используется в качестве оптической накачки для лазера 1 на активном элементе из  $Cr^{2+}:ZnSe$ . Другая часть излучения задающего генератора 3 усиливается в усилителе накачки 11 на кристалле  $Ho^{3+}:YAG$  и служит в качестве оптической накачки для усилителя 2 на  $Cr^{2+}:ZnSe$ . Синхронизация импульсов, усиливаемых в усилителе 2 на  $Cr^{2+}:ZnSe$ , с импульсами накачки этого усилителя реализуется за счет выравнивания длин оптических путей этой накачки и усиливаемого излучения.

---

**B1****041501****041501****B1**

### Область техники

Изобретение относится к устройствам для генерирования светового излучения с длиной волны, перестраиваемой в диапазоне 2300-2700 нм, в непрерывном, импульсном или импульсно-периодическом режимах. Устройство может быть использовано в таких областях, как лидарное зондирование атмосферы Земли из космоса в окне прозрачности атмосферы, прецизионная обработка материалов, медицинская хирургия, научные исследования (в спектроскопии, нелинейной оптике и физике лазеров), а также в качестве источника накачки для преобразования излучения в средний инфракрасный диапазон длин волн.

### Предшествующий уровень техники

Хорошо известно, что для генерирования лазерного излучения с перестройкой длины волны в широком диапазоне необходимо наличие среды с широкой линией усиления. Такая среда, должна обладать резонансными переходами в данном спектральном диапазоне, а также источником накачки, способным создавать инверсную населённость на уровнях резонансного перехода этой среды. В результате накачки среда приобретает способность усиливать световое излучение за счёт вынужденного (индуцированного) испускания квантов света при резонансном переходе. Для перестройки длины волны в таком лазере необходимо использовать какой-либо селекционирующий оптический элемент, такой как дифракционная решетка, призма, эталон и т.д.

Для генерирования лазерного излучения в двухмикронном диапазоне длин волн в настоящее время используются различные кристаллы и стёкла, активированные редкоземельными ионами  $\text{Ho}^{3+}$  и  $\text{Er}^{3+}$ :  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$ ,  $\text{Ho}^{3+}:\text{YLF}$ ,  $\text{Er}^{3+}:\text{YAG}$ ,  $\text{Er}^{3+}:\text{YLF}$  и другие (Scholle K. et al. 2  $\mu\text{m}$  Laser Sources and Their Possible Applications // *Frontiers in Guided Wave Optics and Optoelectronics* / ed. Pal B. InTech, 2010). Кроме того, для генерации лазерного излучения в диапазоне длин волн 2-3 мкм могут быть использованы поли- или монокристаллы, активированные ионами  $\text{Cr}^{2+}$ . В качестве источников накачки этих сред выступают лазерные диоды, волоконные или твердотельные лазеры.

В частности, известна лазерная импульсная система на основе  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , которая накачивается тулиевым лазером  $\text{Tm}^{3+}:\text{YAG}$  (Yumoto M. et al. Electronically tuned  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  laser pumped with Q-switched  $\text{Tm}^{3+}:\text{YAG}$  laser // *Opt. Express*. 2015. Vol. 23, № 19. P. 25009). При накачке излучением лазера на кристалле  $\text{Tm}^{3+}:\text{YAG}$  с длиной волны 2,01 мкм, лазер на кристалле  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  генерирует волну длиной 2,17-2,71 мкм. Эти длины волн лазерной генерации обеспечиваются широкой линией усиления, конкретный выбор осуществляется акустооптическим селектором. Недостатком этой лазерной системы является низкая частота повторений импульсов генерации, не более 10 Гц, обусловленная использованием низкочастотного лазера накачки. При этом при наличии высокой импульсной энергии генерации, такой лазер дает малую мощность, в среднем по времени, менее 0,5 Вт.

Известен также лазерный источник на основе активного элемента  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  для космического мониторинга атмосферы (WO 2017222405 (PCT/RU 2016/000375), публ. 28.12.2017), с перестраиваемой длиной волны в диапазоне от 2,3 до 2,5 мкм, активный элемент которого обеспечивает высокую однородность спектральной плотности потока выходного излучения в диапазоне длин волн от 2,3 до 2,5 мкм. Источниками оптической накачки для него могут быть параметрические генераторы света, твердотельные лазеры на  $\text{Tm}^{3+}:\text{YLF}$ ,  $\text{Tm}^{3+}:\text{YAG}$ ,  $\text{Tm}^{3+}:\text{YAP}$ ,  $\text{MgF}_2:\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Er}^{3+}:\text{Glass}$ , лазерные диоды, волоконные лазеры на ионах  $\text{Tm}^{3+}$  или  $\text{Er}^{3+}$ , рамановские лазеры и др. Недостатками аналога являются ограничение длины волны генерации 2,5 мкм и низкая средняя мощность выходного излучения (0,7 Вт).

Известен также лазерный источник ИК диапазона, содержащий задающий оптический квантовый генератор на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  или  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnS}$ , изготовленный с возможностью перестройки выходного излучения в диапазоне 2-3 мкм, оптически связанный с лазерным усилителем на таких же активных элементах из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  и  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnS}$  соответственно (Mirov S.B. et al. Progress in Mid-IR Lasers Based on Cr and Fe-Doped II-VI Chalcogenides // *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron*. 2015. Vol. 21, № 1. P. 292-310). Перестройка выходного излучения задающего лазера осуществляется с помощью дифракционной решетки, в качестве источника оптической накачки для задающего лазера и лазерного усилителя служит излучение тулиевого или эрбиевого волоконного лазера. Для увеличения выходной мощности используются однофазные усилители мощности. Комбинация двух коэффициентов усиления в одной системе ( $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnS}$  для осциллятора и  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  для усилителя мощности) позволяет значительно расширить диапазон настройки длины волн.

Недостатки аналога. Накачка и излучение лазера непрерывные, что ограничивает мощность излучения на уровне единиц-десятков ватт (при импульсно-периодической генерации и накачке лазерный источник дает пиковую мощность в десятки-сотни киловатт при наносекундной длительности импульсов). Перестройка длины волны излучения осуществляется с помощью механически перемещаемой дифракционной решетки, что является решением технически ненадёжным из-за люфтов в механических узлах и громоздким (в отличие, например, от электронно-управляемого акустооптического фильтра, не содержащего каких-либо механически перемещаемых частей или устройств).

Ближайшим аналогом предлагаемого лазерного источника является лазерный источник ИК диапазона на активном элементе  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  с акустооптической перестройкой длины волны, наносекундными импульсами и большой импульсной мощностью (Yumoto M., Saito N., Wada S. 50 mJ/pulse, electronically tuned Cr:ZnSe master oscillator power amplifier // *Opt. Express*. 2017. Vol. 25, № 26. P. 32948.). Лазерный

источник прототип обеспечивает широкий диапазон настройки от 2,26 до 2,66 мкм, выходную энергию до 50 мДж. Для электронной настройки длин волны внутри резонатора  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  используется акустооптический перестраиваемый фильтр. Источником накачки является лабораторный лазер  $\text{Tm}^{3+}:\text{YAG}$  с модуляцией добротности с длиной волны 2,01 мкм и с частотой повторения импульсов 10 Гц. Входной пучок и пучок накачки объединены дихроичным зеркалом и подаются на поликристаллический активный элемент  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  длиной 15 мм, который используется в качестве среды усиления. Дихроичное зеркало имеет просветляющее покрытие для длины волны накачки и высокоотражающее покрытие для рабочего диапазона длин волн от 2,26 до 2,66 мкм. Синхронизация импульсов задающего генератора и импульсов накачки осуществляется с использованием генератора задержки импульсов.

Недостатками прототипа являются низкая средняя мощность, низкая частота повторения импульсов. Недостатком является также необходимость дополнительного электронного устройства (генератора задержки импульсов), обеспечивающего синхронизацию.

#### Раскрытие изобретения

Задачей, на решение которой направлено настоящее изобретение, является разработка высокоэффективного, компактного и относительно недорогого лазерного источника ИК диапазона, способного генерировать излучение в непрерывном, импульсном или импульсно-периодическом режимах с высокой в среднем по времени мощностью (не менее 3 Вт) на длине волны, перестраиваемой в диапазоне 2300-2700 нм, который может быть использован для лидарного мониторинга атмосферы в окне прозрачности атмосферы Земли.

Технический результат, заключающийся в решении поставленной задачи, в разработанном лазерном источнике ИК диапазона на основе халькогенидных кристаллов, активированных  $\text{Cr}^{2+}$ , с акустооптической перестройкой длины волны достигается за счет того, что он, как и прототип, содержит лазер на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , изготовленный с возможностью перестройки длины волны выходного излучения в диапазоне 2,3-2,7 мкм, оптически связанный с усилителем на таком же активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , при этом для перестройки выходного излучения лазера на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  используется электронно-управляемый акустооптический фильтр.

Новым в разработанном лазерном источнике ИК диапазона на основе халькогенидных кристаллов, активированных  $\text{Cr}^{2+}$ , с акустооптической перестройкой длины волны является то, что в качестве задающего генератора для лазерного источника служит импульсно-периодический лазер на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$ , часть излучения которого используется в качестве оптической накачки для упомянутого лазера на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , другая же часть излучения которого после усиления в усилителе накачки на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$  служит в качестве оптической накачки для упомянутого усилителя на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , при этом синхронизация импульсов, усиливаемых в упомянутом усилителе на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , с импульсами накачки этого усилителя реализуется за счет выравнивания длин оптических путей этой накачки и усиливаемого излучения.

Авторами предложено разделить линейно-поляризованное излучение, генерируемое в импульсно-периодическом лазере на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$  (задающего генератора), с помощью пластины  $\lambda/2$ , (полуволновая пластина, предназначенная для поворота поляризации), которая поворачивает поляризацию в зависимости от ориентации оптической оси. После прохождения через пластину  $\lambda/2$  излучение попадает на поляризационный делитель, который отражает волну с вертикальной поляризацией и пропускает волну с горизонтальной поляризацией. Таким образом, происходит разделение излучения: одна его часть (с горизонтальной поляризацией) идет на накачку лазера на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , а вторая часть (с вертикальной поляризацией) проходит через усилитель накачки на кристалле  $\text{Ho}:\text{YAG}$ , а затем используется для накачки усилителя на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ . Синхронизацию импульсов излучения лазера на кристалле  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , которые усиливаются в усилителе на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , с импульсами накачки (излучения задающего генератора - импульсно-периодического лазера на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$ , прошедшего через усилитель накачки на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$ ) авторы предлагают осуществить подбором оптических путей этих импульсов.

Конструкция лазерного источника ИК диапазона, предложенная авторами, позволяет, в отличие от прототипа, обойтись без дополнительных электронных устройств синхронизации (генератора задержки импульсов), что существенно упрощает схему, обеспечивает ее компактность. Кроме того, использование одного задающего импульсно-периодического лазера на  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$  для накачки генератора на кристалле  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  и усилителя на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  вместо двух лазеров накачки позволяет достичь эффективности и компактности схемы, а также снизить ее стоимость.

Разработанное устройство поясняется следующими чертежами:

на фиг. 1 представлена оптическая схема предлагаемого лазерного источника ИК диапазона в соответствии с формулой;

на фиг. 2 - структурная схема предлагаемого лазерного источника ИК диапазона в соответствии с формулой.

Оптическая схема предлагаемого лазерного источника состоит (см. фиг. 1) из лазера 1 на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , усилителя 2 (усилителя мощности) на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , задающего

генератора 3 (в качестве которого служит импульсно-периодический лазер на кристалле  $\text{Ho}:\text{YAG}$ ), электронно-управляемого акусто-оптического фильтра 4, тулиевого волоконного лазера 5, пластины  $\lambda/2$  6, поляризационного делителя 7, поворотного зеркала 8, второго тулиевого волоконного лазера 9, поворотного зеркала 10, усилителя накачки 11 на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$ , суммирующего дихроичного зеркала 12.

Разработанный лазерный источник ИК диапазона на длинах волн 2300-2700 нм с представленными выше техническими характеристиками создан по схеме задающий генератор - усилитель мощности. Он функционирует следующим образом. Тулиевый волоконный лазер 5 на длине волны 1908 нм (мощность непрерывного излучения 30-40 Вт) накачивает задающий генератор 3 (импульсно-периодический лазер на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$ ) с излучением на длине волны 2091 нм. Задающий генератор 3 излучает импульсы длительностью 20-30 нс, с частотой повторения 10 кГц, пачки импульсов следуют с частотой повторения 10 Гц - 1 кГц, длительность пачки от 500 мкс до 50 мс, средняя мощность в пачке от 15 до 25 Вт. Излучение задающего генератора 3 делится с помощью пластины  $\lambda/2$  6 и поляризационного делителя 7 на два пучка (примерно 50% на 50% по мощности).

Один пучок излучения задающего генератора 3 поступает в качестве основной накачки в лазер 1 на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ . Лазер 1 генерирует импульсно-периодическое излучение, длина волны которого перестраивается с помощью электронно-управляемого акустооптического фильтра 4 в диапазоне 2,3-2,7 мкм, при средней мощности в пачке 1-10 Вт.

Другой пучок излучения задающего генератора 3 (на длине волны 2091 нм) после пластины  $\lambda/2$  6 и поляризационного делителя 7 через поворотное зеркало 8 поступает в усилитель накачки 11 на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$  с накачкой излучением второго тулиевого волоконного лазера 9. После усилителя накачки 11 на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$  импульсы излучения на 2091 нм поступают в качестве накачки на усилитель мощности 2 на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , через суммирующее дихроичное зеркало 12 (которое пропускает излучение накачки и отражает сигнальную волну). Одновременно с импульсами накачки в этот усилитель мощности 2 поступают также импульсы усиливаемого сигнала лазера 1 на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  на длинах волн в интервале 2,3-2,7 мкм, прошедшие через акустооптический фильтр 4, через поворотное зеркало 10 и через суммирующее дихроичное зеркало 12. На выходе усилителя 2 на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  имеем выходное излучение с требуемыми параметрами.

В случае достижения необходимой мощности излучения (в среднем по времени и в импульсах) в лазере 1 на  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  каскад лазерного усилителя 2 на  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  может быть ликвидирован (что позволит упростить схему).

Структурная схема оптической части лазерного излучателя включает 4 основных сборочных детали (см. фиг. 2): излучатель задающего генератора 3 (импульсно-периодического лазера на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$ ), усилитель накачки 11 на кристалле  $\text{Ho}:\text{YAG}$ , лазер 1 на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , усилитель 2 на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ .

Один пучок излучения задающего генератора 3 поступает в качестве основной накачки в лазер 1 на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ . Этот лазер генерирует импульсно-периодическое излучение, длина волны которого должна перестраиваться в диапазоне 2,3-2,7 мкм, при средней мощности в пачке 1-10 Вт. В качестве дополнительного (вспомогательного) источника накачки лазера 1 на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  рассматривается также лазер на керамике  $\text{Tm}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$  на длине волны 1968 нм. Использование такого дополнительного пучка излучения в качестве накачки позволит расширить диапазон длин волн генерации лазера на  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  в коротковолновую сторону.

Таким образом, предлагаемая конструкция лазерного источника позволяет достичь технический результат, который заключается в повышении эффективности лазерной генерации на длинах волн 2,3-2,7 мкм, достижении компактности лазерного источника и снижении его себестоимости.

#### **Вариант осуществления изобретения**

В примере конкретной реализации разработанного лазерного источника ИК диапазона на основе халькогенидных кристаллов, активированных  $\text{Cr}^{2+}$ , с акустооптической перестройкой длины волны в качестве тулиевых волоконных лазеров 5 и 9 для накачки использованы лазеры ЛМТ-50 производства ООО "НТО "ИРЭ-Полус" (Фрязино, Московская обл.). Задающий генератор 3 (импульсно-периодический лазер) и усилитель накачки 11 собраны авторами с использованием кристаллов  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$  производства АО "Полус" (Москва) в качестве активных элементов. Лазер 1 и усилитель 2 изготовлены авторами на кристаллах  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  производства ИХВВ РАН (Нижний Новгород) в качестве активных элементов. Длина волны излучения разработанного лазерного источника перестраивается в диапазоне 2,3-2,7 мкм при ширине спектральной линии менее 10 нм. Изготовленный лазерный источник ИК диапазона обеспечивает энергию в пачках импульсов не менее 20 мДж, следующих с частотой повторения в диапазоне 10-1000 Гц, при заполнении пачек отдельными наносекундными импульсами, следующими с частотой повторения 20-50 кГц. При этом удаётся получить пиковую мощность в десятки-сотни киловатт.

#### **Промышленная применимость**

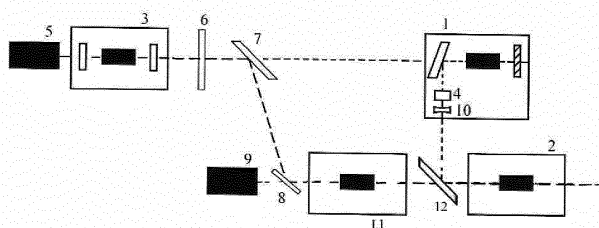
Разработанный лазерный источник на основе активного элемента  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  предназначен для создания лазерных систем в диапазоне длин волн 2300-2700 нм, которые могут быть использованы для лидарного мониторинга атмосферы в окне прозрачности атмосферы Земли.

Диагностика состояния атмосферы при помощи лидаров является наиболее эффективным способом быстрого дистанционного или локального мониторинга загрязнений. Предпочтительнее для данного контроля является исследование атмосферы в среднем инфракрасном (ИК) диапазоне. В этом диапазоне расположены "окна" прозрачности атмосферы, а также находятся интенсивные изолированные линии поглощения колебательно-вращательных переходов разнообразных молекул. Это даёт возможность дистанционного определения неорганических газов и органических молекул по спектрам поглощения. В диапазоне длин волн прозрачности атмосферы 2300-2700 нм могут быть диагностированы такие важные атмосферные и промышленные газы как метан ( $\text{CH}_4$ ), оксид углерода II (угарный газ,  $\text{CO}$ ), аммиак ( $\text{NH}_3$ ), фтороводород ( $\text{HF}$ ) и некоторые другие газы.

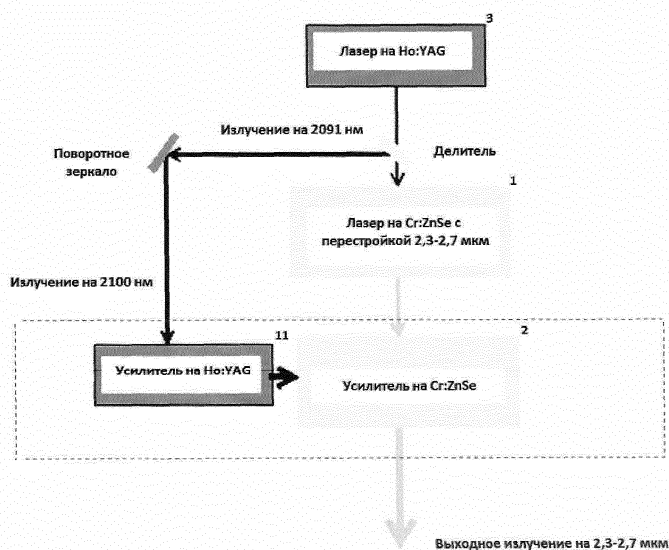
Наряду с решением задач лидарного мониторинга лазеры с мощным излучением в диапазоне длин волн 2,3-2,7 мкм могут быть использованы для прецизионной обработки пластиков (органических полимеров), медицинской диагностики, ИК дальнометрии и целеуказания, лабораторной спектроскопии.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Лазерный источник ИК диапазона на основе халькогенидных кристаллов, активированных  $\text{Cr}^{2+}$ , с акустооптической перестройкой длины волны, содержащий лазер на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , изготовленный с возможностью перестройки длины волны выходного излучения в диапазоне 2,3-2,7 мкм, оптически связанный с усилителем на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , при этом для перестройки выходного излучения лазера на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$  используется электронно-управляемый акустооптический фильтр, отличающийся тем, что в качестве задающего генератора для лазерного источника служит импульсно-периодический лазер на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$ , часть излучения которого используется в качестве оптической накачки для упомянутого лазера на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , другая же часть излучения которого после усиления в усилителе накачки на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$  служит в качестве оптической накачки для упомянутого усилителя на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , а синхронизация импульсов, усиливаемых в упомянутом усилителе на активном элементе из  $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ , с импульсами накачки этого усилителя реализуется за счет выравнивания длин оптических путей этой накачки и усиливаемого излучения.



Фиг. 1



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2