

		ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ:	
Факультет	<u>И</u> индекс факультета	Заведующий кафедрой	<u>И1</u> индекс кафедры
Выпускающая кафедра	<u>И1</u> индекс кафедры	<u>Борейшо А. С.</u> Фамилия ИО	
Группа	<u>И1М31</u> индекс группы	« 26 » _____ марта	подпись 2019 г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019 г.

Оглавление

Введение	3
1. Выбор активной среды	4
2. Расчет энергетических параметров сканера	7
Заключение	9
Используемые источники	10

Введение

Сканирующие зеркала на основе МЭМС (микроэлектромеханических систем) в последнее время получили большой интерес для их применения в различных зондирующих и лидарных устройствах в качестве легкого, компактного сканирующего элемента с низким энергопотреблением. Некоторые лидарные датчики на основе МЭМС уже были разработаны для различных применений, таких как робототехника, метеорология: измерение скорости ветра, в космических проектах, что показывает возможность применения этой технологии. Для лидара с дальним радиусом действия угол, частота сканирования, мощность излучения, а также размер зеркала являются наиболее важными параметрами. Также для обеспечения достаточного отношения сигнал/шум (SNR) при обнаружении на большом расстоянии особенно важна большая апертура на приемнике. В отличие от большинства аналогичных разработок предлагаемая конструкция предполагает существенно больший угол обзора и увеличенную апертуру при малых габаритах.

1. Выбор активной среды

Для эффективного сканирования дорожного полотна детектор должен обладать высокой частотой сканирования, большой апертурой и широким сектором обнаружения, а также иметь достаточно высокую мощность источника излучения для обеспечения большого значения SNR.

Согласно СанПиН № 5804-91 наиболее безопасным является диапазон 1400 - 1800 нм [1].

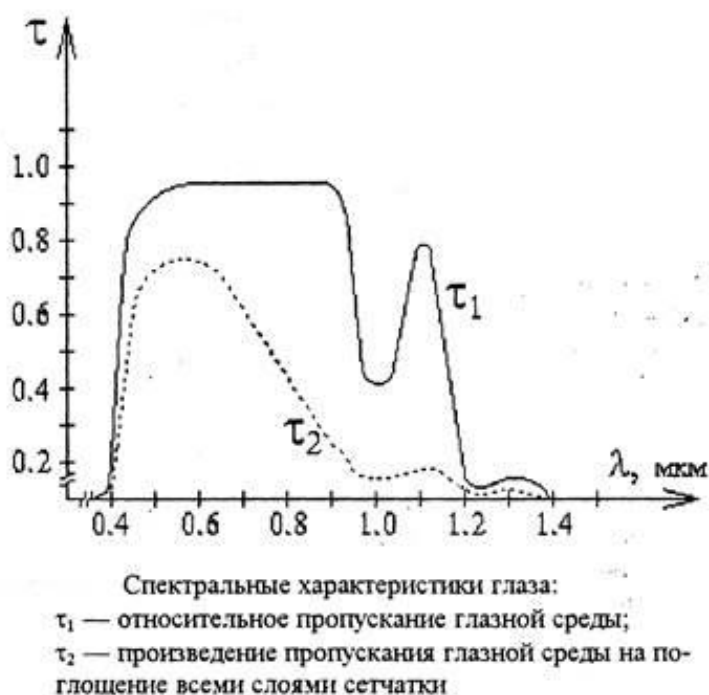


Рисунок 1 – Спектральные характеристики глаза [2]

При лазерном зондировании необходимо, чтобы длина волны излучения источника и сечения излучения активной среды соответствовали спектральному окну прозрачности атмосферы (рис. 2, 3). Анализируя спектры поглощения и пропускания атмосферы, можно заключить, что оптимальным диапазоном для сканирования является окно $\sim 1,52$ - $1,75$ мкм.

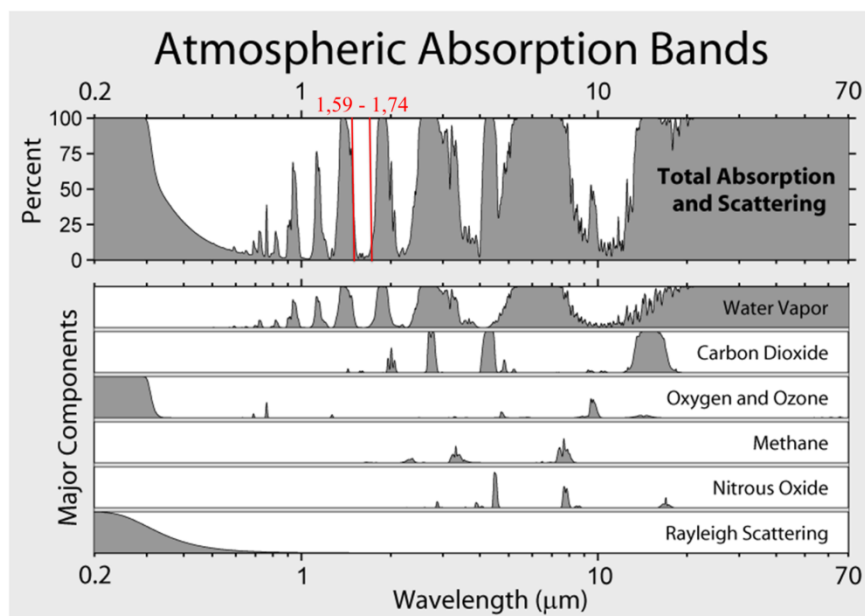


Рисунок 2 – Спектр поглощения атмосферы [3]

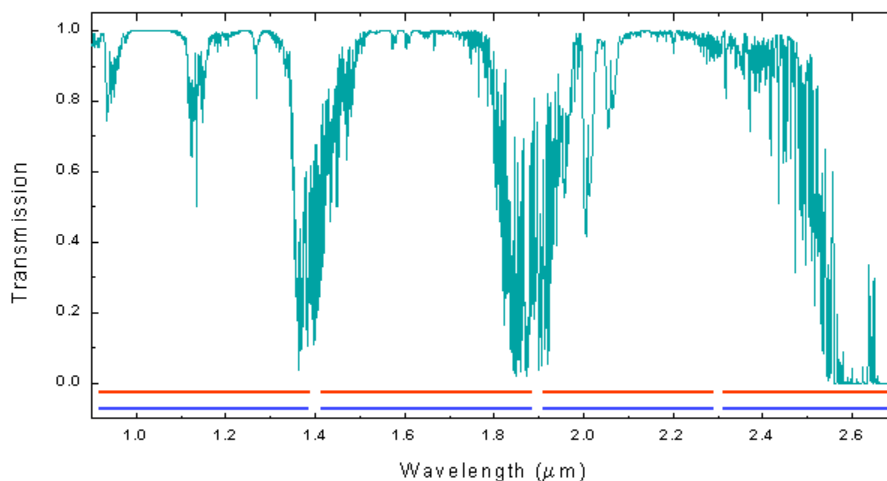


Рисунок 3 – Спектр пропускания атмосферы в диапазоне 0,9-2,8 мкм [4]

В соответствии с этим диапазоном был выбран источник излучения с длиной волны 1620 нм, мощностью 2 мВт (Одномодовый лазерный диод QFLD-1620-2S фирмы QPhotonics, LLC) [5].

В передающем канале сканирующего устройства для охватывания большего сектора сканирования используется цилиндрическая плосковогнутая линза, которая обеспечивает увеличение угла обзора в одном направлении. Таким образом, рассеянный сканирующий сигнал, отраженный и обратно рассеянный от объекта, значительно ослабевает.

Для того чтобы на приемник приходило достаточное количество рассеянной мощности, предлагается использовать активную среду, которая позволит увеличить SNR.

Существует множество различных сред усиления и наиболее распространенными из них являются лазерные кристаллы и стекла, такие как Nd:YAG, Yb:YAG, Er:YAG, Yb:glass, Er:glass и др. Эти кристаллы или стекла легируются некоторыми лазерно-активными ионами (в большинстве случаев трехвалентными редкоземельными ионами), свойства многих сред были проанализированы и сведены в сравнительную таблицу (Приложение А) [6 – 27]. Было определено, что кристаллами, излучающими в безопасном для глаз диапазоне, являются Er:YVO₄, Er:Glass, Er:KYW, Er:YAG и Tm:YAG. Но благодаря длительному времени жизни: 7640 мкс и большой величине теплопроводности: 14 Вт/м·К в качестве среды усиления был выбран кристалл Er:YAG. Спектральные характеристики кристалла приведены на рис. 4, 5, а внешний вид разработанной среды усиления – на рис. 6. В качестве излучения накачки была выбрана матрица накачки с длиной волны 1470 нм и мощностью 35 Вт (UMBs 1470) [28].

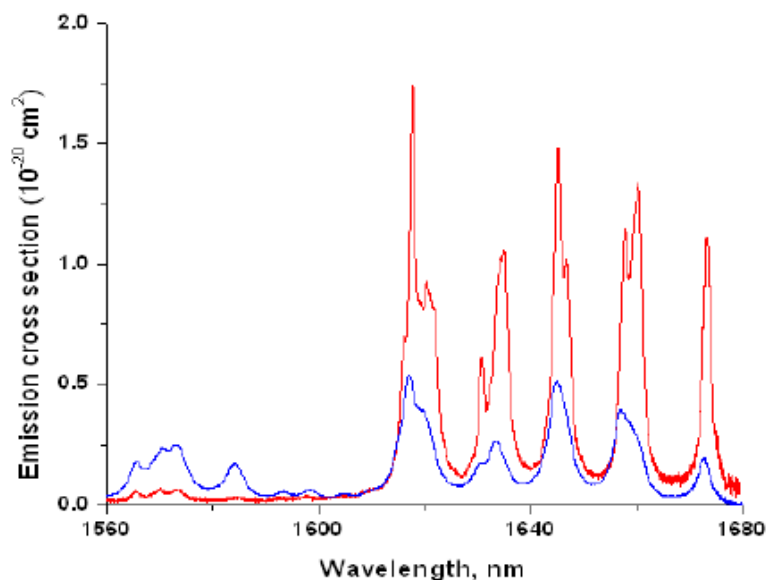


Рисунок 4 – Сечение излучения Er:YAG при температуре: синий - 300 К; красный - 70 К [29]

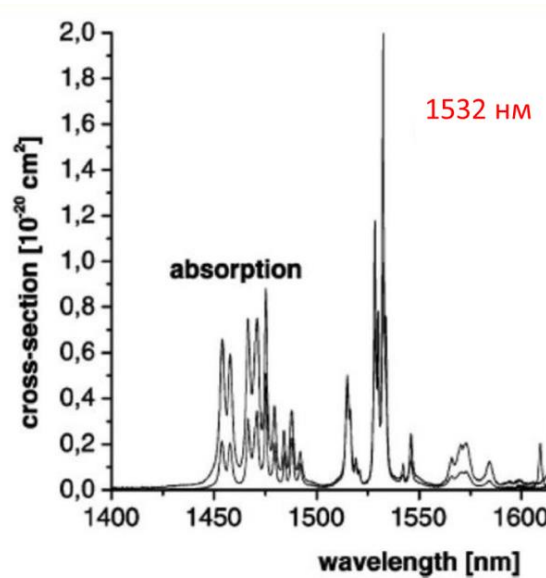


Рисунок 5 – Сечение поглощения Er:YAG [30]

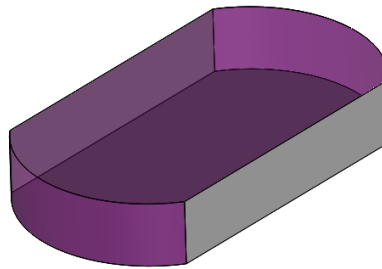


Рисунок 6 – Внешний вид рассчитанного активного элемента из кристалла Er:YAG

2. Расчет энергетических параметров сканера

Коэффициент усиления излучения после прохождения активной среды был вычислен по формуле 2 [31]:

$$K = e^{\left\{ \frac{\left(\frac{8 \cdot E_H^2 \cdot \sigma_{\text{погл}} \cdot \lambda_H^2 \cdot (1 - e^{-N_{Er} \cdot \sigma_{\text{погл}} \cdot H})}{(h \cdot c \cdot L \cdot D)^2 \cdot a \cdot H \cdot \pi} - N_{Er} \right) \cdot \sigma_{\text{изл}} \cdot L}{1 + \frac{8 \cdot P_{\text{ЭГ}} \cdot \lambda_{\text{изл}} \cdot \sigma_{\text{изл}} \cdot \tau_{Er}}{\pi \cdot h \cdot c \cdot D^2}} \right\}} \quad (1)$$

где: E_H - энергия накачки, Дж; $\sigma_{\text{погл}}$ - сечение поглощения, м^2 ; λ_H - длина волны накачки, м; N_{Er} - концентрация атомов Er в кристалле, м^{-3} ;

H, L, a - высота, длина и ширина активной среды соответственно, м; h - постоянная Планка, Дж·с; c - скорость света, м/с; D - диаметр пучка, м; $\sigma_{\text{изл}}$ - сечение излучения, м²; $P_{\text{зг}}$ - мощность лазерного диода, Вт; $\lambda_{\text{изл}}$ - длина волны излучения, м; τ_{Er} - время жизни верхнего уровня, с.

Энергия излучения сканирующего устройства после прохождения активной среды составляет 0,1 Дж и является достаточной для эффективного сканирования. При этом затухание сигнала в условиях тумана составило порядка 80 дБ/км, а величина отношения сигнал/шум – 23,5.

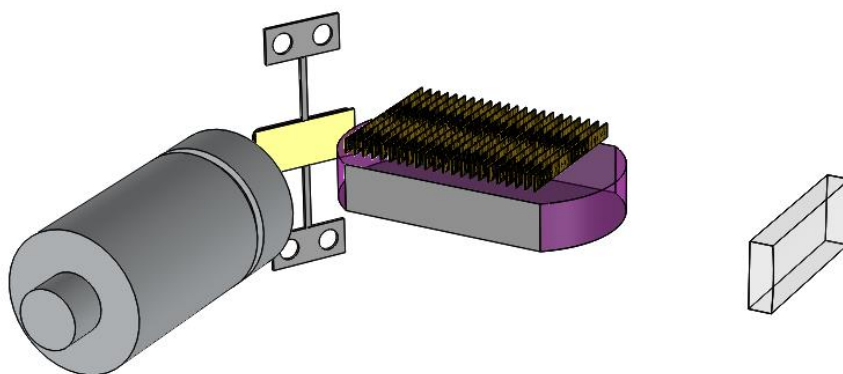


Рисунок 7 – Передающий канал ЛИДАРa

Заключение

В результате проделанной работы было проведено качественное сравнение лазерных кристаллов, использующихся в качестве активной усиливающей среды, и выбран материал активной среды, излучение которого безопасно для глаз, а также подобраны источники излучения и накачки. Также был разработан передающий канал сканирующего устройства, включающий в себя источник излучения, осциллирующее микрозеркало, осуществляющее сканирование пространства, источники накачки, среду усиления и цилиндрическую линзу, обеспечивающую рассеяние луча вдоль одной координаты. Были оценены основные энергетические характеристики разрабатываемого сканера.

Используемые источники

1. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров [Текст]: утв. зам. главного государственного санитарного врача СССР А.Н.Скляров 31 июля 1991 г. N 5804-91 г.
2. Воздействие лазерного излучения на органы зрения [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.ecostam.ru/eaecos-414-1.html>, свободный.
3. Atmosphere. [Электронный ресурс]. – ASTR 3010. Lecture 5. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.slideserve.com/cosmo/atmosphere>, свободный.
4. IR Transmission Spectra. [Электронный ресурс]. – Gemini Observatory. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.gemini.edu/sciops/telescopes-and-sites/observing-condition-constraints/ir-transmission-spectra>, свободный.
5. Single mode fiber coupled laser diode, 2mW @ 1620nm, QFLD-1620-2S. [Электронный ресурс]. – QPhotonics, LLC. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.qphotonics.com/Single-mode-fiber-coupled-laser-diode-2mW-1620nm.html>, свободный.
6. Laser crystals. [Электронный ресурс]. – ALPHALAS GmbH. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.alphalas.com/products/laser-components/laser-crystals.html?gclid=CjwKCAjwwtTmBRBqEiwAb6c__eYkUDWFyAfVRkUMQcFzmPynViKzxaIEoIk2Ih0UIfQzIFwiSzDjhоCKasQAvD_BwE, свободный.
7. Hao Yang, Jian Zhang. Novel transparent ceramics for solid-state lasers. . [Текст]. – School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University. – Singapore, 02.08.13.
8. 1.96- μm Tm:YAG Ceramic Laser. [Электронный ресурс]. – IEEE Photonics Journal. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8089802>, свободный.
9. Erbium Doped Phosphate Glasses For Lamp Pump. [Электронный ресурс]. – MetaLaser INC. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.meta-laser.com/uploads/20189763/Er-Glass-Lamp-Pump-Metalaser.pdf>, свободный.
10. Erbium laser glass. [Электронный ресурс]. – Claser Inc. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.claserinc.com/crystals/lasercrystals/Erlass.htm>, свободный.

11. Er:KYW crystals. [Электронный ресурс]. – Optogama. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://4lasers.com/components/crystals/laser-crystals/er-doped-crystals/er-kyw-crystals>, свободный.
12. Er-doped YAG. [Электронный ресурс]. – MetaLaser INC. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.meta-laser.com/uploads/20199763/ER-YAG-Laser-Crystal-Metalaser.pdf>, свободный.
13. Алумо-Иттриевый гранат (АИГ). [Электронный ресурс]. – АРД-ОПТИКС. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://rus.ardoptics.com/material/aljumo-ittrievyj-pomegranate.html>, свободный.
14. Er:YAG (2940 nm). [Электронный ресурс]. – NORTHROP GRUMMAN CORPORATION. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.northropgrumman.com/BusinessVentures/SYNOPTICS/Products/LaserCrystals/Pages/ErYAG.aspx>, свободный.
15. Er:YAG Erbium-doped YAG. [Электронный ресурс]. – Crylink INC. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.laser-crylink.com/wp-content/uploads/2019/04/Er-YAG-datasheet-Laser-Crylink.pdf>, свободный.
16. Tm:YAG. [Электронный ресурс]. – CRYTUR, spol. s r.o. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.crytur.cz/materials/tmyag>, свободный.
17. Tm:YAG - Лазерный кристалл иттрий-алюминиевого граната, легированный тулием. [Электронный ресурс]. – ОЭС Спецпоставка. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://oessp.ru/catalog/optika-i-fotonika/kristally/lazernye-kristally/11513_tm_yag/, свободный.
18. Cr²⁺ ZnSe. [Электронный ресурс]. – MetaLaser INC. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.meta-laser.com/uploads/20199763/Cr-ZnSe-Laser-Crystal-Metalaser.pdf>, свободный.
19. Mid-Infrared Coherent Sources and Applications. [Текст]: NATO Science for Peace and Security Series - B: Physics and Biophysics. – Edited by Majid Ebrahim-Zadeh, Irina T. Sorokina. – Barcelona.: Springer, 2005. – 624 с.
20. Chromium, Thulium, Holmium: Yttrium Aluminum Garnet - CTH:YAG. [Электронный ресурс]. – Northrop Grumman Corporation. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.northropgrumman.com/BusinessVentures/SYNOPTICS/Products/LaserCrystals/Documents/pageDocs/Cr,Tm,Ho-YAG.pdf>, свободный.
21. CTH:YAG. [Электронный ресурс]. – DIENTECH. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.dientech.com/pro_info/155.html, свободный.
22. Highly efficient dual-wavelength mid-infrared CW Laser in diode end-pumped Er:SrF₂ single crystals. [Электронный ресурс]. – Springer Nature

- Publishing AG. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/srep36635>, свободный.
23. Erbium. [Электронный ресурс]. – ScienceDirect. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/erbium>, свободный.
24. Er:YSGG/Er,Cr:YSGG. [Электронный ресурс]. – DIENTECH. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.dientech.com/pro_info/180.html, свободный.
25. Кристаллы Er,Cr:YSGG. [Электронный ресурс]. – ООО "Компания "АЗИМУТ ФОТОНИКС". – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.azimp.ru/catalogue/laser_crystals/42917, свободный.
26. Er:YLF crystals. [Электронный ресурс]. – Optogama. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://4lasers.com/components/crystals/laser-crystals/er-doped-crystals/er-ylf-crystals>, свободный.
27. Ekembu K. Tanyi. Thermal radiation of Er doped dielectric crystals: Probing the range of applicability of the Kirchhoff's law. [Текст]: Ekembu K. Tanyi, Brandi T. Burton, Evgenii E. Narimanov, M. A. Noginov. Thermal radiation of Er doped dielectric crystals: Probing the range of applicability of the Kirchhoff's law // Scientific Reports 7, Article number: 2040 (2017). – 17.05.17.
28. Unmounted Diode Laser Bars (UMBs), 1430-1470 nm. [Электронный ресурс]. – Coherent, Inc. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://edge.coherent.com/assets/pdf/UMBs-1430-1470nm-Data-Sheet.pdf>, свободный.
29. Er:YAG emission cross-section (ECS) at 300 and 80 K in the vicinity of laser transitions of 1618 and 1645 nm. [Электронный ресурс]. – ResearchGate. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/figure/ErYAG-emission-cross-section-ECS-at-300-and-80-K-in-the-vicinity-of-laser-transitions_fig1_224306101, свободный.
30. Kuang-Yu Hsu. Er:YAG DCF for High Power Laser. [Электронный ресурс]. – SlidePlayer.com Inc. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://slideplayer.com/slide/13279873/>, свободный.
31. О. Звелто. Принципы лазеров. [Текст]. – Под научной ред. Т. А. Шмаонова; перевод с английского Д. Н. Козлова, С. Б. Созинова, К. Г. Адамович. – 4-е издание, перераб. и доп. – СПб.: Лань, 2008. – 720 с.

Сравнительная таблица лазерных сред

Кристалл	Длина волны излучения, нм	Сечение излучения (10^{-20} см ²)	Время жизни верхнего уровня, мкс @ 1%	Ширина линии излучения, нм	Длина волны накачки, нм	Показатель поглощения, см ⁻¹ @ 1%	Ширина линии поглощения, нм	Термооптический коэффициент dn/dt , 10^{-6} К ⁻¹	Теплопроводность, Вт/(м*К)
Nd:YVO ₄	914 1064 1342	250 @ 1064 нм	90	0,96 @ 1064 нм	808,5	3,14 @ 810 нм	4	8,5	5,23
Nd:GdVO ₄	912,6 1063,1 1341,3	76 @ 1063,1 нм	95	0,8 @ 1064 нм	808,4	74 @ 810 нм	3	4,7	11,7
Nd:YAG	946 1064 1319	28 @ 1064 нм	230	0,6 @ 1064 нм	807,5	7,1 @ 810 нм	1	7,9	14
Yb:YAG	1030 1050	2 @ 1030 нм	1200	9,0 @ 1030 нм	940 970	1	8	8,9	14
Nd:YLF	1047 1053 1321 1313	18 @ 1047 нм	485	1,3 @ 1047 нм 1,4 @ 1053 нм	793 798 804	2,3 @ 793 нм 3 @ 798 нм	0,75 @ 1047 нм 0,88 @ 1053 нм	-4,3 @ 1047 нм -2 @ 1053 нм	6,3
Nd:KGW	911 1067,2 1351	43 @ 1067,2 нм	110 @ 3%	2,73 @ 1067,2 нм	811	4,5 @ 1067,2 нм	12	-5,5	2,8 [100] 2,2 [010] 3,5 [001]
Er:YVO ₄	1520	1,75	3400	3,75	1517	-	3,75	7,92	14,5
Er:Glass	1535-1560	0,8-0,4	8000	25	986	25	7,1	-5,2	0,7
Er:KYW	1609	0,4	3100	-	1534	-	3	-	3,5
Er:YAG	1620	0,4	7640	7,8	1532	2,6	2	-	14
Tm:YAG	1750	0,23	10000	75	1620	10 @ 8%	3,3	7,3	11
Cr:ZnSe	1900-2900	120	5700	800	1600-1900	250	300	70	18
Cr, Nm, Ho:YAG (CTH:YAG)	2080	0,7	8500	8,5	781	36	4	-	14
Er:CaF ₂	2725	0,65	9940	12,5	968	4,48	20	-	4,84
Er:SrF ₂	2730	0,78	15060	10	971	3,8	20	-	-
Er,Cr:YSGG	2800	0,52	1400	-	380, 650	40	-	12,3	8
Er:YLF	2810	1,5	4	-	972	28	1	4,1	6,3

