

## Предложения для целевых и инновационных разработок:

### *(1) Лазерные кристаллы (Er,Yb):YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> для компактных медицинских и телекоммуникационных устройств*

Совместно с Белорусским национальным техническим университетом показано, что это фактически первый и единственный высокоэффективный лазерный кристалл, генерирующий в безопасной для глаз области 1.5 мкм излучение в режиме синхронизации мод, более чем в три раза превышающее лучшие мировые результаты по выходной мощности [1-3] (см. таблицу). Такие лазеры со сверхкороткими импульсами и частотой следования в десятки гигагерц незаменимы в телекоммуникационных системах большой емкости, оптической локации и дальнометрии. Они позволят также существенно удешевить и минимизировать размеры хирургических лазерных инструментов, работающих в непрерывном режиме, заменив ими существующие установки с частотами всего лишь до двух импульсов в секунду, ламповой накачкой и водяным охлаждением.

### *Сравнительная характеристика лазерных сред, активированных ионами Er и Yb*

Функциональные свойства	YAB	YCOB	YVO	YAG	Фосфатное стекло
Выходная мощность в непрерывном режиме, мВт	1000	250	170	31	~150
Эффективность в непр. режиме, %	35	26,8	5	7	19
Выходная мощность в режиме пассивной синхронизации мод, мВт	270	-	-	-	183
Ссылка	[1-3]	[4]	[5]	[6]	[7,8]

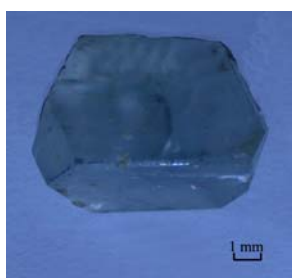
Примечание: YAB - YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, YCOB - YCa<sub>4</sub>O(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, YVO - YVO<sub>4</sub>, YAG - Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>.

1. N.I. Leonyuk, V.V. Maltsev, E.A. Volkova, O.V. Pilipenko, E.V. Koporulina, V. E. Kisel, N.A. Tolstik, S.V. Kurilchik, N.V. Kuleshov, Opt. Mater. **30** (2007) 161.
2. N.A.Tolstik, S.V. Kurilchik, V.E. Kisel, N.V. Kuleshov, V.V. Maltsev, O.V. Pilipenko, E.V. Koporulina, N.I. Leonyuk, Optics Letters, **32** (2007) 3233.
3. A.Lagatsky, V. E. Kisel, A. E. Troshin, N. A. Tolstik, N. V. Kuleshov, N. I. Leonyuk, A. E. Zhukov, E. U. Rafailov, W. Sibbett, Optics Letters **33** (2008) 83.
4. P. Burns, J. Dawes, P. Dekker, J. Piper, H. Jiang, J. Wang, IEEE J. Quantum Electron. **40** (2004) 1575.
5. N.A.Tolstik, A.E.Troshin, S.V.Kurilchik, V.E.Kisel, N.V.Kuleshov, V.N.Matrosov, T.A.Matrosova, M.I.Kupchenko, Appl. Phys. **B 86** (2007) 275.
6. T.Schweizer, T.Jensen, E.Heumann, G.Huber, Opt. Commun. **118** (1995) 557.
7. G.J.Spühler, L.Gallmann, R.Fluck, G.Zhang, L.R.Brovelli, C.Harder, P.Laporta, U.Keller, Electronic letters **35** (1999) 567.
8. P. Laporta, S. Taccheo, S. Longhi, O. Svelto, C. Svelto, Opt. Mater. **11** (1999) 269.

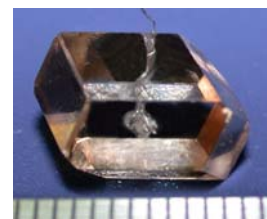
Образцы полученных кристаллов:



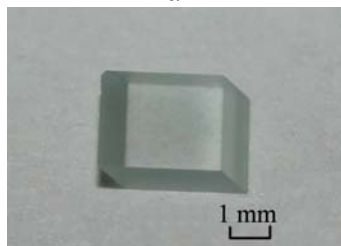
1a



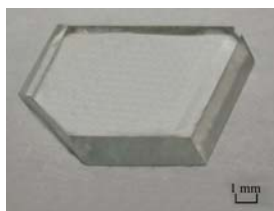
2a



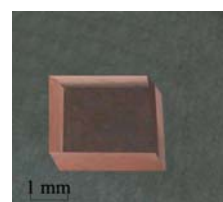
3a



1б



2б



3б

1 –  $\text{Yb}_{0.15}\text{Y}_{0.85}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$

2 –  $\text{Yb}_{0.1}\text{Y}_{0.9}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$

3 –  $\text{Er}_{0.01}\text{Yb}_{0.11}\text{Y}_{0.88}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$

а - исходный кристалл, б - оптический элемент

## (2) Кристаллы $(\text{Y,Nd})\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$ для высокоэффективных микроchip-лазеров

Основные функциональные свойства активно-нелинейных кристаллов  $\text{Nd}_x\text{Y}_{1-x}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$  приведены в таблице и статье [1].

Параметры, единицы измерения	x=0.2	x=0.6	x=0.8	$\text{LiNbO}_3:\text{Nd}$
Концентрация активных ионов, $\text{см}^{-3}$	$1.08 \cdot 10^{21}$	$3.24 \cdot 10^{21}$	$4.86 \cdot 10^{21}$	$3 \cdot 10^{20}$
Сечение генерац. перехода ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{11/2}$ , $\text{см}^2$	$10 \cdot 10^{-19}$	$10 \cdot 10^{-19}$	$10 \cdot 10^{-19}$	$1.5 \cdot 10^{-19}$
Сечение генерац. перехода ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{13/2}$ , $\text{см}^2$	$1.8 \cdot 10^{-19}$	$1.8 \cdot 10^{-19}$	$1.8 \cdot 10^{-19}$	$0.26 \cdot 10^{-19}$
Время жизни ионов в возбужденном ${}^4\text{F}_{3/2}$ - состоянии, мксек	45	30	22	85
Эффективная восприимчивость на длине волны генерации, сгсэ	$3 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$10 \cdot 10^{-9}$
Углы фазового синхронизма $\theta_c$ при $T=22^\circ\text{C}$ на $\lambda=1.06$ мкм	$30^\circ 30'$	$30^\circ 40'$	$30^\circ 20'$	$80^\circ - 85^\circ$
Потери на пассивное рассеяние, $\text{см}^{-1}$	0.008	0.01	0.01	0.06
Лучевая стойкость $P_{\text{пор}}$ , $\text{МВт}/\text{см}^2$	600	400	500	5

В ближайшем аналоге - кристаллах  $(\text{Nd,Ln})\text{Sc}_3(\text{BO}_3)_4$  (Nd:LSB) концентрация активаторных ионов  $\text{Nd}^{3+}$  не превышает  $1.48 \cdot 10^{21}$  в  $1 \text{ см}^3$ , т.е. не более 25% от позиции La, выше которой нецентросимметричный ромбоэдрический структурный тип, обладающий нелинейно-оптическими свойствами, переходит в моноклинный, который не удваивает частоту лазерной накачки [2]. Следовательно, при 100%-ном замещении иттрия на неодим в предлагаемом материале,  $(\text{Nd,Y})\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$ , концентрацию активных ионов  $\text{Nd}^{3+}$  реально можно увеличить в 4 раза по сравнению с Nd:LSB, и тем самым существенно повысить эффективность микроchip-лазера, созданного на значительно меньших размеров кристаллическом элементе из  $(\text{Nd,Y})\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$ .

Использование таких простых, компактных и недорогих микрочип-лазеров открывает пути создания нового поколения малогабаритных устройств с незначительным потреблением энергии для спектроскопии, нелинейной оптики, медицины, биологии, охраны окружающей среды.

Принимая во внимание высокую концентрацию активных ионов в кристаллах  $\text{NdTa}_7\text{O}_{19}$  и возможность управлять их формой [3], эти материалы также представляют интерес для дисковых лазеров, где глубина эффективного поглощения излучения накачки составляет 100-200 мкм.

1. Л.М. Дорожкин, И.И. Куратов, Н.И. Леонюк, Т.И. Тимченко, А.В. Шестаков, Письма в ЖЭТФ 7 (1981) 1297.
2. Ю.Ю. Брославец, А.А. Фомичев, Ю.П. Коваль, М.Ш. Кобякова, О.В. Кузьмин, <http://zhurnal.mipt.rssi.ru> и <http://2312512.861.ru>.
3. E. Cavalli, E. Bovero, E.A. Volkova, R. Ramponi, N.I. Leonyuk, Opt. Mat. 28 (2006) 1235.

Образцы полученных кристаллов:



$\text{Nd}_{0.15}\text{Y}_{0.85}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$



$\text{Nd}_{0.3}\text{Y}_{0.7}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$



$\text{Nd}_{0.2}\text{Gd}_{0.8}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4$



$\text{NdAl}_3(\text{BO}_3)_4$   
(пластинка из монокристалла)



$\text{NdTa}_7\text{O}_{19}$   
(на затравке)



$\text{NdTa}_7\text{O}_{19}$   
(спонтанные кристаллы)

### (3) Монокристаллические микроразмерные слои $(\text{Er}, \text{Yb}):\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$

В последние годы в лаборатории изучена кинетика и механизм роста эпитаксиальных монокристаллических пленок  $(\text{Er}, \text{Yb}):\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$  [1]. В содружестве с Белорусским национальным техническим университетом у них установлены рекордные характеристики по сравнению с известными ранее волноводными структурами для компактных устройств волоконно-оптической связи – генераторов и усилителей оптического сигнала [2,3].

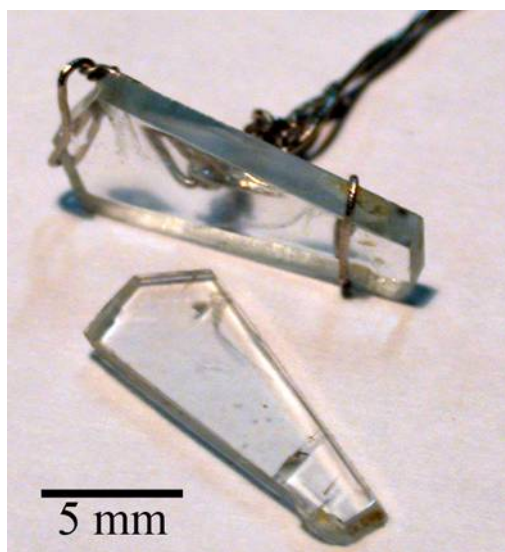
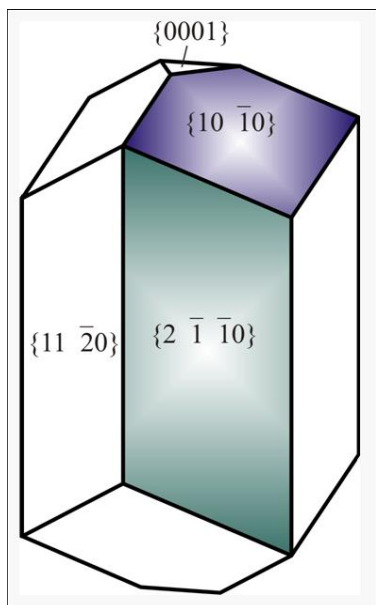


Схема изготовления подложек из монокристалла  $YAl_3(BO_3)_4$

1. E.A. Volkova, N.I. Leonyuk, J. Crystal Growth **275** (2005) 2467.
2. N.I. Leonyuk, V.V. Maltsev, E.A. Volkova, O.V. Pilipenko, E.V. Koporulina, V.E. Kisel, N.A. Tolstik, S.V. Kurilchik, N.V. Kuleshov, Optical Materials **30** (2006) 161.
3. В.В. Филиппов, И.Т. Боднар, Н.В. Кулешов, Н.И. Леонюк, В.В. Мальцев, О.В. Пилипенко, Оптический вестник **74** (2007) 85.

#### (4) Другие кристаллические материалы с особыми свойствами

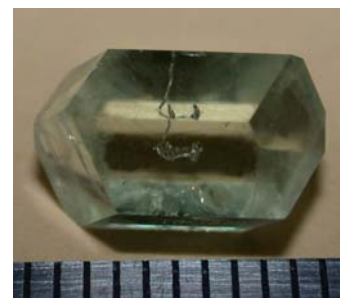
##### Редкоземельно-алюминиевые бораты:



$YAl_3(BO_3)_4$



$YAl_3(BO_3)_4$



$GdAl_3(BO_3)_4$

Н.И. Леонюк, Кристаллография **53** (2008) 546.

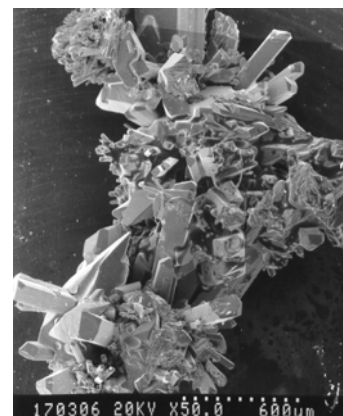
## Монокристаллы купратов - высокотемпературных сверхпроводников:



Фаза 123-Eu [1]



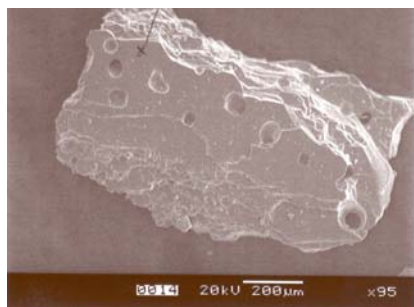
Фаза 2212 [2]



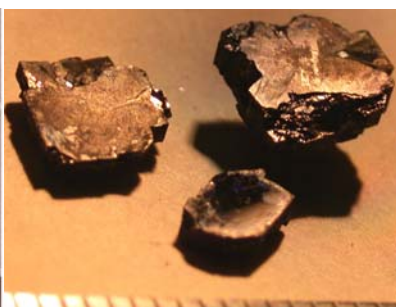
Несоразмерная фаза [3]

1. L.I. Leonyuk, G.-J. Babonas, A.V. Vetkin, V.V. Maltsev, J. Crystal Growth **167** (1997) 102.
2. V. Maltsev, L. Leonyuk, G.-J. Babonas, A. Vetkin, A. Reza, J. Cryst. Growth **198/199** (1999) 626.
3. V. Maltsev, L. Leonyuk, G.J. Babonas, A. Reza, L. Dapkus, J. Crystal Growth **225** (2001) 162.

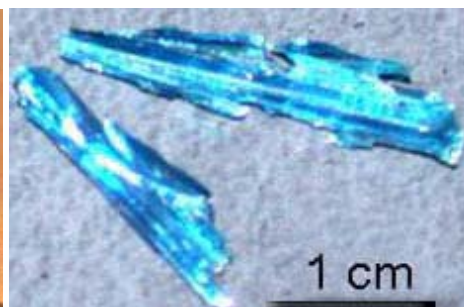
## Монокристаллы одномерных и двумерных магнетиков:



$\text{CaV}_4\text{O}_9$



$\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$



$\text{CuGeO}_3$

## Синтетические изумруд и рубин:



изумруд



рубин с концентрацией Cr до 6.5 ат.%

1. S.N. Barilo, G.L. Bychkov, V.V. Fedotova, L.A. Kurnevich, S.V. Shiryaev, N.I. Leonyuk, T.V. Smirnova, V.T. Koyava, N.V. Kuleshov, J. Crystal Growth **198/199** (2000) 716.

2. N.I. Leonyuk, A.V. Lyutin, V.V. Maltsev, S.N. Barilo, G.L. Bychkov, L.A. Kurnevich, G.A. Emelchenko, V.M. Masalov, A.A. Zhokhov, J. Crystal Growth **280** (2005) 551.
3. С.В. Демишев, Р.В. Бунтинг, Л.И., Леонюк, Письма в ЖЭТФ **73** (2001) 36.