

Актуальность работы.

Кристаллы ниобата лития (LiNbO_3) широко используются в интегральной оптике, в нелинейной оптике для параметрической генерации и для преобразования частот лазерного излучения. В настоящее время востребованы монокристаллы LiNbO_3 , как номинально чистые, так и легированные, обладающие одновременно высокой композиционной однородностью и низким эффектом фоторефракции, что делает актуальными разработки технологий получения и подробные исследования особенностей структуры и физических характеристик таких кристаллов. До сих пор существуют нерешенные фундаментальные и технологические проблемы получения стехиометрических и сильно легированных монокристаллов LiNbO_3 высокой композиционной однородности, требующие детального изучения особенностей состояния их дефектной структуры в тесной взаимосвязи с особенностями технологий подготовки прекурсоров, синтеза шихты и выращивания монокристаллов. Роль дефектов и тонких особенностей упорядочения структурных единиц катионной подрешетки кристалла LiNbO_3 , являющегося фазой переменного состава, является определяющей в формировании его нелинейно-оптических и фоторефрактивных характеристик.

Большим недостатком легирования кристаллов металлическими катионами является наличие концентрационных порогов и областей различной композиционной однородности. Кроме того, существенное снижение эффекта фоторефракции достигается лишь при высоких (несколько мас. %) концентрациях легирующих «нефоторефрактивных» металлических катионов. Указанные особенности легирования приводят к сильному возрастанию композиционной неоднородности, к наличию механических напряжений в кристалле, приводящих к их растрескиванию, к существенному снижению оптического качества кристалла LiNbO_3 , особенно вблизи концентрационных порогов. В этой связи актуальным является выявление концентрационных областей максимального композиционного и структурного упорядочения легированных монокристаллов, а также поиск альтернативных путей создания высокосовершенных монокристаллов высокой композиционной однородности с максимально низкими эффектом фоторефракции и коэцитивным полем.

Одним из таких альтернативных путей, развиваемых в диссертации, является новый подход к получению высокосовершенных монокристаллов LiNbO_3 , заключающийся в использовании в технологии шихты и монокристаллов оксидов химически активных неметаллических элементов. Таким образом, оба направления диссертационной работы Р.А. Титова являются новыми и в литературе практически не разработаны. Тема диссертации Р.А. Титова, посвященной выяснению влияния легирующих элементов цинка и бора в широком диапазоне концентраций и особенностей технологий легирования на состояние дефектной структуры, композиционную однородность и оптические свойства кристалла LiNbO_3 , несомненно, имеет высокую актуальность.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа Р.А. Титова выполнена в лаборатории материалов электронной техники Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ИХТРЭМС КНЦ РАН). Диссертация состоит из списка сокращений, введения, 4-х глав, основных выводов, списка

цитируемой литературы и 4-х приложений. Работа изложена на 203 страницах, включая 47 рисунков, 14 таблиц, 270 литературных источников и 4 приложения, включающих в себя 16 рисунков и 6 таблиц.

Во введении автором определены цели и поставлены задачи исследования. Представлена характеристика объектов исследования, научная новизна, практическая значимость и сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации работы, личном вкладе автора, структуре и объёме работы.

Первая глава является подробным обзором литературы. В ней рассмотрены разработанные в ИХТРЭМС КНЦ РАН технологии прекурсоров, шихты и монокристаллов ниобата лития, номинально чистых и легированных Mg, Zn и др. металлами. Подробно проанализированы фазовые диаграммы систем $\text{Li}_2\text{O-Nb}_2\text{O}_5$, $\text{Li}_2\text{O-B}_2\text{O}_3$, $\text{Li}_2\text{O-Nb}_2\text{O}_5\text{-ZnO}$, $\text{Li}_2\text{O-Nb}_2\text{O}_5\text{-B}_2\text{O}_3$ и $\text{Li}_2\text{O-K}_2\text{O-Nb}_2\text{O}_5$. Описаны особенности строения ниобата лития и особенности его дефектной структуры как кислородно-октаэдрической фазы переменного состава. Рассмотрены особенности порогового вхождения легирующих катионов металлов в кислородно-октаэдрическую структуру кристалла ниобата лития и их влияние на упорядочение структурных единиц катионной подрешётки кристалла. Показано, что химически активный элемент бор в малых количествах оказывает многофакторное воздействие на структуру расплава, его физико-химические свойства, и, как следствие, на структуру и практически значимые физические характеристики кристалла ниобата лития. Проанализированы потенциальные преимущества (по сравнению с технологиями легирования металлами) технологии легирования кристалла неметаллическим элементом бором

Во второй главе подробно описаны разработанные в ИХТРЭМС КНЦ РАН технологии шихты и монокристаллов LiNbO_3 , исследованных в диссертации, физические методы исследований особенностей их дефектной структуры и физических характеристик. Кристаллы ниобата лития получали методом Чохральского и исследовали с помощью ИК-спектроскопии поглощения, спектроскопии комбинационного рассеяния света, рентгеноструктурного анализа, лазерной коноскопии в широкоапертурных пучках лазерного излучения, фотоиндуцированного рассеяния света, оптической спектроскопии и с применением модельных расчётов структуры кристалла.

Третья глава посвящена описанию исследований особенностей формирования дефектной структуры и оптических свойств серии кристаллов $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$, полученных по технологии прямого легирования расплава (включая технологию выращивания кристаллов из одного тигля). Здесь же представлены результаты определения композиционной однородности и оценочного эффективного коэффициента распределения, фотоэлектрических полей (фотовольтаического и диффузионного), а также ширины запрещенной зоны исследованных кристаллов, полученных по технологии прямого легирования цинком. Описаны исследования методом спектроскопии комбинационного рассеяния света особенностей упорядочения структурных единиц и эффектов проявления концентрационных порогов в кристаллах $\text{LiNbO}_3\text{:Zn}$. Показано, что вне зависимости от длины волны возбуждающего лазерного излучения наибольший вклад в раскрытие индикатрисы ФИРС и, соответственно, в эффект фоторефракции для стехиометрического кристалла вносит диффузионный, а для конгруэнтного кристалла и кристаллов, легированных цинком - фотовольтаический

механизм. Обнаружен минимум в концентрационном поведении ширины линий, что однозначно свидетельствует о существовании области повышенного упорядочения основных, примесных катионов и вакансий вдоль полярной оси. Показано, что аномальное и скачкообразное вблизи концентрационных порогов (при 3.95 и 5.19 мол. % ZnO в кристалле) изменение ширины линий в спектрах комбинационного рассеяния света обусловлено изменением механизма вхождения легирующих катионов Zn в катионную подрешётку кристалла. Впервые обнаружены слабовыраженные концентрационные пороги в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ при 1.39, 3.43 и 5.19 мол. % ZnO в кристалле. Методом спектроскопии комбинационного рассеяния света подтверждены результаты рентгеноструктурного анализа, что структура кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$, полученных по технологии прямого легирования расплава, в области концентраций $\sim 3.95\text{-}4.54$ мол. % ZnO в кристалле характеризуется минимальным количеством точечных дефектов Nb_{Li} , являющихся наиболее глубокими электронными ловушками. Однако стехиометрический кристалл, выращенный из расплава с 58.6 мол. % Li_2O , является менее совершенным: он характеризуется существенно более высоким эффектом фоторефракции и более низкой композиционной однородностью, чем кристаллы $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$.

В четвёртой главе научно обоснован и реализован новый подход к получению номинально чистых кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{B}$, по составу близких к стехиометрическим, с использованием шихты, легированной бором. Показано, что влияние бора на структурирование расплава системы $\text{Li}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5-\text{B}_2\text{O}_3$ и, как следствие, на структуру и физические характеристики кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ заключается в выравнивании коэффициентов распределения лития и ниобия в процессе роста кристаллов вследствие связывания избыточного по составу ниобия в расплаве конгруэнтного состава борсодержащими полианионами, что приводит к увеличению значения $R=[\text{Li}]/[\text{Nb}]$ в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ и к комплексованию в расплаве следовых количеств примесных металлов (Al, Ca, Pb) в виде боратов, что способствует повышению чистоты кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{B}$. Установлено, что химически активный элемент B^{3+} входит в структуру кристалла в следовых количествах ($4 \cdot 10^{-4}$ мол. % B_2O_3). При этом следовые количества бора заметно изменяют длины связей $\langle \text{O}-\text{O} \rangle$ и $\langle \text{Me}-\text{O} \rangle$, искажая тем самым анионный каркас структуры кристалла и изменяя поляризуемость кислородно-октаэдрических кластеров MeO_6 , определяющих нелинейно-оптические свойства кристалла.

Описаны исследования влияния технологий легирования на композиционную однородность, оптические свойства, ширину запрещенной зоны и состояние дефектности структуры кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{B}$, полученных по технологии прямого твёрдофазного легирования оксидом бора и борной кислотой, и кристалла, полученного по технологии гомогенного легирования с использованием прекурсора $\text{Nb}_2\text{O}_5:\text{B}$. Показано, что вне зависимости от выбранной технологии легирования и химического состава легирующего компонента (B_2O_3 , H_3BO_3) наблюдается увеличение содержания Li_2O в кристаллах по сравнению с кристаллом конгруэнтного состава, то есть наблюдается повышение стехиометрии кристалла. Установлено, что для кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{B}$, полученных по технологии прямого твёрдофазного легирования оксидом бора, характерно «возмущение» кислородно-октаэдрических кластеров NbO_6 , определяющих нелинейно-оптические и сегнетоэлектрические свойства кристалла, по сравнению с кристаллами конгруэнтного состава. Однако для кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ (1.24 мол. % B_2O_3 в шихте), полученного по технологии прямого твёрдофазного

легирования борной кислотой, наблюдается противоположная ситуация: кластеры NbO_6 становятся более совершенными. Таким образом, автором показано, что применение метода прямого твёрдофазного легирования борной кислотой позволяет получать более упорядоченные кристаллы по сравнению с технологией легирования оксидом бора.

Научные результаты и их новизна

К наиболее значимым результатам выполненных исследований, которые обладают признаками научной новизны, по нашему мнению, следует отнести следующие:

1. Обнаружение впервые в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ трех слабых концентрационных порогов при 1.39, 3.43 и 5.19 мол. % ZnO в кристалле.

2. Автором впервые показано существенное влияние бора на структурирование расплава системы $\text{Li}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5-\text{B}_2\text{O}_3$ и, как следствие, на структуру и физические характеристики кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{B}$, заключающееся в выравнивании коэффициентов распределения лития и ниобия в процессе роста кристаллов вследствие связывания избыточного по составу ниобия в расплаве конгруэнтного состава борсодержащими полианионами, что приводит к увеличению значения $R=[\text{Li}]/[\text{Nb}]$ в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{B}$, и к комплексованию в расплаве следовых количеств примесных металлов (Al, Ca, Pb) в виде боратов, что способствует повышению чистоты кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{B}$.

3. Автором впервые показано и научно обосновано, что элемент B^{3+} входит в структуру кристалла в следовых количествах ($\sim 4 \cdot 10^{-4}$ мол. % B_2O_3), встраиваясь в вакантные тетраэдрические пустоты структуры кристалла в составе группы $[\text{BO}_3]^{3-}$, локализуясь в одной из трёх позиций: в гранях вакантных тетраэдрических пустот, граничащих с вакантными или литиевыми октаэдрами O_6 , либо в кислородной плоскости O_3 , общей для смежных тетраэдров. Это приводит к снижению в кристаллах $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ концентрации дефектов Nb_{Li} и V_{Li} , как минимум, на количество катионов B^{3+} ($\sim 4 \cdot 10^{-4}$ мол. %), перешедших в структуру кристалла. При этом следовые количества бора заметно изменяют длины связей $\langle \text{O}-\text{O} \rangle$ и $\langle \text{Me}-\text{O} \rangle$, искажая тем самым анионный каркас структуры кристалла и изменяя поляризуемость кислородно-октаэдрических кластеров MeO_6 и спонтанную поляризацию, определяющих нелинейно-оптические и сегнетоэлектрические свойства кристалла.

4. Автором показано, что кристаллы $\text{LiNbO}_3:\text{B}$, полученные по технологии прямого твёрдофазного легирования шихты конгруэнтного состава, обладают пониженной концентрацией структурных дефектов Nb_{Li} , по сравнению с конгруэнтным кристаллом, а по упорядочению структурных единиц катионной подрешётки приближаются к стехиометрическому кристаллу. Установлено, что применение метода прямого твёрдофазного легирования борной кислотой (H_3BO_3) в большей степени повышает сопротивление к повреждению лазерным излучением кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{B}$, по сравнению с легированием оксидом бора (B_2O_3). Согласно данным полнопрофильного рентгеноструктурного анализа установлено, что технология гомогенного легирования прекурсора $\text{Nb}_2\text{O}_5:\text{B}$ позволяет получать кристаллы $\text{LiNbO}_3:\text{B}$, обладающие структурой более совершенной и более близкой к структуре кристалла стехиометрического состава, чем технология прямого твёрдофазного легирования борной кислотой.

Значимость работы для науки и производства

Предложен и запатентован новый способ легирования кристалла ниобата лития, заключающийся во введении следовых количеств элемента бора в тетраэдрические

пустоты кристалла. Данным способом можно получать крупногабаритные кристаллы ниобата лития стехиометрического состава, получение которых по другим технологиям невозможно.

Выполнено, применительно к кристаллам $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ и $\text{LiNbO}_3:\text{B}$, сопоставление технологий прямого легирования расплава, технологии твердофазного легирования и технологии, использующей легированную шихту, синтезированную с использованием прекурсора $\text{Nb}_2\text{O}_5:\text{B}$ (метод гомогенного легирования). Показано, что технология гомогенного легирования позволяет получать кристаллы $\text{LiNbO}_3:\text{B}$, обладающие структурой более совершенной и более близкой к структуре кристалла стехиометрического состава, чем технологии прямого твердофазного легирования оксидом бора и борной кислотой.

Достоверность и апробация результатов

Достоверность и обоснованность выводов по работе обеспечиваются высоким уровнем экспериментальных исследований, корректным и высокопрофессиональным анализом полученных данных, соответствием полученных автором результатов современному уровню знаний в этой области.

Материалы диссертации многократно докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях, были опубликованы в сборниках научных трудов и в научных журналах, рекомендуемых ВАК. Получен патент на изобретение.

Общая оценка диссертации, вопросы и замечания

Оформление диссертации производит благоприятное впечатление, графические и табличные материалы достаточно полно отражают полученные автором результаты. Текст изложения диссертации – научный, технически грамотный. Все главы работы логически связаны между собой, содержат выводы, по которым можно судить о завершенности раздела и решении задач на конкретном этапе работы. Автореферат отвечает основному содержанию работы, а поставленная в диссертации задача решена в полном объеме.

В то же время по работе можно сделать следующие замечания:

1. В диссертации описаны и применяются несколько способов легирования: прямое легирование расплава, гомогенное легирование и др. Однако физико-химические особенности каждого способа легирования, а также их отличия, дающие определенные преимущества каждого способа легирования, никак не поясняются. Из текста диссертации совершенно не ясно на каких научных идеях основаны преимущества того или другого способа легирования. В частности, в диссертации подробно обсуждается метод гомогенного легирования с использованием прекурсора $\text{Nb}_2\text{O}_5:\text{Me}$, где Me – легирующий металл, предложенный в ИХТРЭМС КНЦ РАН. Следовало бы привести также подробное физико-химическое обоснование преимуществ этого способа легирования перед другими способами легирования.

2. При выращивании монокристаллов методом Чохральского происходит неравномерное распределение следовых количеств посторонних примесей и легирующих примесей по объему выращенного кристалла, существенно зависящее от параметров роста и технологий. В работе эта особенность метода Чохральского применительно к исследованным кристаллам $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ и $\text{LiNbO}_3:\text{B}$ никак не учитывается. Следовало бы в диссертации привести таблицы или графики распределения концентрации посторонних и

легирующих примесей по объему кристалла, а также привести сравнение наиболее практически значимых физических характеристик контрольных образцов, вырезанных из различных участков объема выращенного монокристалла.

3. В диссертации (стр.146) и автореферате (стр. 15) утверждается, что «дефекты Nb_{Li} и OH-группы в кристалле отвечают за эффект фоторефракции, то...». Это противоречит литературным данным о влиянии OH-групп на эффект фоторефракции. Кроме того, в выводе 7 (раздел «Основные выводы») диссертации сказано, что «расположение OH-групп в структуре кристаллов $LiNbO_3:В$ более упорядочено, чем в кристалле $LiNbO_{3конг}$ и гораздо менее упорядочено, чем в высокосоввершенных кристаллах стехиометрического состава, полученных методом НТТSSG». Хотелось бы получить по этому вопросу подробное пояснение.

4. В тексте диссертации (глава 3, стр. 94) сказано, что «...в кристаллах $LiNbO_3:Zn$ (0.07-1.19 мол. % ZnO в кристалле) существует область повышенного упорядочения структуры, когда в катионной подрешётке повышен порядок чередования основных, примесных катионов и вакансий вдоль полярной оси, а кислородные октаэдры близки к идеальным...». Совершенно непонятен механизм этого явления. В частности, как столь малая концентрация цинка (0.07 мол.% ZnO) может повысить упорядочение структурных единиц катионной подрешетки и композиционную однородность кристалла?

5. На стр. 14 автореферата (первый абзац сверху) сказано, что в кристалле $LiNbO_{3стех}$ сильнее, чем в кристаллах $LiNbO_{3конг}$, $LiNbO_3:В$ и в кристаллах $LiNbO_3:Zn$, проявляется диффузионный механизм переноса заряда, что характерно для кристаллов с большим количеством мелких ловушек электронов». Однако объяснение этому интересному и практически значимому факту не дано.

Перечисленные недостатки не влияют на положительную оценку работы в целом.

Заключение

Диссертационная работа Р.А. Титова представляет собой полноценную и законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком научном уровне, имеющую актуальность, теоретическую основу, научно-практическую значимость. Автореферат дает достаточно полное представление о научной новизне, структуре, содержании, практическом применении результатов работы, апробации и публикациях по теме диссертации. Автореферат в полной мере раскрывает и отражает содержание диссертации. Работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК и действующими нормативными документами.

Диссертационная работа соответствует пункту № 1 направлений исследований научной специальности 2.6.7 («Технология неорганических веществ») – «Технологические процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щёлочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты», пункту № 6 направлений исследований «Свойства сырья и материалов, закономерности технологических процессов для разработки, технологических расчетов, проектирования и управления химико-технологическими процессами и производствами», пункту № 8 направлений исследований «Разработка теоретических основ и установление общих закономерностей проектирования и технологий изготовления неорганических материалов», пункту № 9 направлений исследований «Разработка оптимальных структур и конструкций, а также инновационных технологий изготовления материалов с заданными потребительскими и

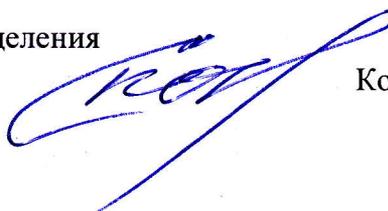
технико-экономическими показателями для обеспечения снижения затрат на организацию их производства и повышения качества продукции».

Диссертация «Технологические и структурные факторы формирования физических характеристик нелинейно-оптических монокристаллов ниобата лития, легированных цинком и бором» соответствует критериям пп. 9-14 "Положения о присуждении ученых степеней" (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, в редакции от 26 сентября 2022 г. № 1690), а ее автор, Титов Роман Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7 - «Технология неорганических веществ».

Отзыв обсужден и единогласно одобрен на научно-техническом семинаре Зеленоградского отделения ООО НПК Оптилинк.

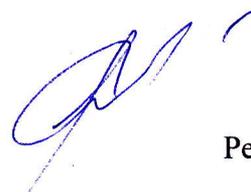
Отзыв составили:

Технический директор Зеленоградского отделения
ООО НПК Оптилинк, д.ф.-м.н., доцент
Телефон: +7 (495) 663-17-60 (доб. 103)
E-mail: skostritskii@optolink.ru



Кострицкий С.М.

Инженер технологического участка
Зеленоградского отделения ООО НПК Оптилинк,
к.т.н.,



Редичев Е.Н.

Подписи Кострицкого С.М. и Редичева Е.Н. заверяю:
Секретарь ООО НПК Оптилинк



Строганова А.Н.

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Титова Романа Алексеевича на тему «Технологические и структурные факторы формирования физических характеристик нелинейно-оптических монокристаллов ниобата лития, легированных цинком и бором», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7 – «Технология неорганических веществ»

ООО Научно-производственная компания «ОПТОЛИНК»

Место нахождения	г. Москва, Зеленоград.
Почтовый адрес, телефон (при наличии), адрес электронной почты	124489, Российская Федерация, г. Москва, Зеленоград, Сосновая аллея, дом 6 А, строение 5. Телефон: (495)663-17-60 Факс: (495)663-17-61 E-mail: opto@optolink.ru
Адрес официального сайта в сети «Интернет»	http://optolink.ru/ru/
Название структурного подразделения, составляющего отзыв	Зеленоградское отделение ООО НПК «Оптолинк»
ФИО (полностью), учёные степени, учёные звания, должности лиц, утверждающего и подписывающих отзыв	Фёдоров Вячеслав Александрович, д.ф.-м.н., профессор, Технический директор ООО Научно-Производственная Компания «Оптолинк» Кострицкий Сергей Михайлович, д.ф.-м.н., доцент, Технический директор Зеленоградского отделения ООО Научно-Производственная Компания «Оптолинк» Редичев Евгений Николаевич, к.т.н., Инженер технологического участка Зеленоградского отделения ООО Научно-Производственная Компания «Оптолинк»

Список основных публикаций работников ведущей организации по специальности 2.6.7 – «Технология неорганических веществ» за последние 5 лет

1. High-precision inertial measurement unit IMU-5000 / Yu.N. Korkishko, V.A. Fedorov, V.E. Prilutskiy [et al.] // Proc. 5th IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (Lake Como, Italy, 26-29 March 2018). – P. 111-114. DOI: 10.1109/ISISS.2018.8358121
2. Технология трехмерной фемтосекундной записи для создания интегрально-оптических элементов / Н.Н. Скрябин, М.А. Бухарин, С.М. Кострицкий [и др.] // Радиопромшленность. – 2018. – № 1. – С. 110-117.
3. Correction of Y-branches on proton-exchanged waveguides in lithium niobate by femtosecond writing technology / N.N. Skryabin, M.A. Bukharin, S.M. Kostritskii [et al.] // KnE Energy & Physics. – 2018. – P. 103-108. DOI: 10.18502/ken.v3i3.2019

4. Dependence of pyroelectric response on inter-electrode capacitance for integrated-optical circuits utilizing x-cut LiNbO₃ chips / S.M. Kostritskii, A.V. Yatsenko, Yu.N. Korkishko, V.A. Fedorov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – V. 699. – P. 012021(1-6). DOI: 10.1088/1757-899X/699/1/012021
5. Ultra-compact navigation-grade Inertial Measurement Unit IMU400 / Yu.N. Korkishko, V.A. Fedorov, V.E. Prilutskiy [et al.] // Proc. 2020 IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (INERTIAL) (Hiroshima, Japan, 23-26 March 2020). – P. 1-4. DOI: 10.1109/INERTIAL48129.2020.9090072
6. Compact near-navigation-grade IFOG inertial measurement unit IMU400 / Yu.N. Korkishko, V.A. Fedorov, S.V. Prilutskiy [et al.] // Proc. DGON Inertial Sensors and Systems (ISS) (Braunschweig, Germany, 15-16 September 2020). – P. P07(1-17). DOI: 10.1109/ISS50053.2020.9244909
7. Parameters of nonlinear scattering evaluated by open-aperture Z-scan technique in photorefractive LiNbO₃ crystals / S.M. Kostritskii, M. Aillerie, E. Kokanyan, O. Sevostyanov // Optical and Quantum Electronics. – 2020. – V. 52. – I. 2. – P. 92(1-11). DOI: 10.1007/s11082-020-2216-y
8. Phase composition of channel proton-exchanged waveguides in different near-congruent LiNbO₃ / S.M. Kostritskii, Yu.N. Korkishko, V.A. Fedorov [et al.] // Ferroelectrics Letters Section. – 2020. – V. 47. – I. 1-3. – P. 9-15. DOI: 10.1080/07315171.2020.1799627
9. Pyroelectric drift of integrated-optical LiNbO₃ modulators / S.M. Kostritskii, Yu.N. Korkishko, V.A. Fedorov, A.V. Yatsenko // Ferroelectrics. – 2021. – V. 574. – № 1. – P. 170-178. DOI: 10.1080/00150193.2021.1888062
10. Miniature Inertial Measurement Units IMU200 and IMU400 Based on FOG with MEMS-Accelerometers: Development and Studying of Characteristics / Yu.N. Korkishko, V.A. Fedorov, V.E. Prilutskiy, V.G. Ponomarev, S.V. Prilutskiy, D.V. Obuhovich, I.V. Fedorov, A.I. Zuev, V.K. Varnakov, S.M. Kostritskii, I.V. Morev. 29th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, Saint Petersburg, Russia, May 30-June 01, 2022. DOI: 10.23919/ICINS51784.2022.9815451

Основание: Приказ Минобрнауки РФ № 326 от 16 апреля 2014 года, п. 10 (в редакции от 27 ноября 2017 года № 1147).

Технический директор ООО Научно-
Производственная
«Оптолинк»,
д.ф.-м.н., профессор



Фёдоров В.А.

16.01.2023