

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента на диссертационную работу**  
**Винника Дениса Александровича «Физико-химические основы**  
**получения монокристаллических материалов на основе гексагональных**  
**ферритов для применения в электронике сверхвысоких частот»,**  
**представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по**  
**специальности 02.00.04 – физическая химия**

Тема диссертационного исследования Винника Д.А. «Физико-химические основы получения монокристаллических материалов на основе гексагональных ферритов для применения в электронике сверхвысоких частот» относится к актуальному в настоящее время направлению получения материалов на основе ферритов с настраиваемыми свойствами. Однако, несмотря на проявляемый представителями различных научных школ интерес к этим твердым растворам в настоящее время работы по получению материалов носят эмпирический характер. В современной работе наблюдается явный недостаток результатов физико-химического анализа и моделирования условий получения кристаллических материалов. Зачастую, выбор условий синтеза твердых растворов, например, при выращивании монокристаллов из раствора, основан на собственных и литературных сведениях о возможности применения того или иного растворителя. Такой подход не обеспечивает оптимального с точки зрения термодинамики условий кристаллизации конкретных многокомпонентных систем.

Представленная работа посвящена физико-химическому анализу условий получения гексагональных ферритов, выращиванию монокристаллов чистых матриц и частично замещенных монокристаллов, исследованию структуры и свойств полученных материалов. Диссертация включает введение, 5 глав, основные результаты, список литературы и два приложения, в т.ч. четыре письма и акта о возможности практического использования результатов исследования.

Во введении приведено обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы цель, задачи, достигнутый уровень научной новизны и

полученные результаты с оценкой их теоретической и практической значимости. Автором сформулирована необходимость обоснованного выбора физико-химических параметров, что может повысить эффективность поиска оптимальных условий роста монокристаллов.

Первая глава представляет собой обзор литературных данных, в т.ч. теоретические основы строения и свойств гексагональных ферритов, обзор результатов получения ферритов М типа - чистых матриц и твердых растворов на их основе. Следует отметить, что обзор ранее опубликованных сведений построен логично, соответствует теме диссертации и дает представление о текущем состоянии развития данной области науки.

Во второй главе представлено описание созданного для выполнения исследования комплекса оборудования, приведены характеристики всех составляющих компонентов. Следует подчеркнуть, что данное оборудование для задач получения материалов является в значительной степени универсальным, т.к. включает в себя все этапы (от подготовки исходных компонентов, до выращивания монокристаллов из тигля объемом до 0,5 л).

В третьей главе представлены фундаментальные результаты, обеспечивающие автору возможность создания системного подхода к получению материалов - анализ фазовых равновесий, реализующихся в системах, являющихся основой растворов для выращивания монокристаллов гексагональных ферритов. В главе приведены результаты собственных экспериментальных исследований, а также систематизированы ранее опубликованные данные по оксидным системам  $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{PbO-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaO-PbO}$ ,  $\text{BaO-Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaO-B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$ . Результаты представлены в виде диаграмм состояния указанных систем. Моделирование осуществлено с применением специализированного программного пакета мирового уровня - Fact Sage. Результаты исследования двойных системы были положены в основу анализ трёхкомпонентных и более сложных систем -  $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ ,  $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-PbO}$ ,  $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-PbO-B}_2\text{O}_3$ , что в свою очередь позволило построить политермические сечения "кристалл-



растворитель" –  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}\text{--Na}_2\text{O}$ ,  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}\text{--PbO}$ ,  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}\text{--BaB}_2\text{O}_4$ ,  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}\text{--}(\text{PbO})_{1-x}(\text{B}_2\text{O}_3)_x$  при  $x$  в диапазоне от 0,1 до 0,3, а также провести количественную оценку снижения испарения оксида свинца (расчет парциального давления  $\text{PbO}$  в системе  $\text{PbO}\text{--B}_2\text{O}_3$ ) при добавлении оксида бора.

Полученные в главе 3 результаты позволили обоснованно подойти к выбору условий выращивания монокристаллов гексагональных ферритов, результаты которого представлены в главе 4. Кроме того, в данной части диссертационного исследования представлены результаты получения монокристаллов твердых растворов на основе гексаферрита М типа:  $\text{Ba}_{1-y}\text{Pb}_y\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ , где  $y$  от 0 до 0,8;  $\text{BaFe}_{12-x}\text{Me}_x\text{O}_{19}$ , где  $\text{Me}$  –  $\text{Al/Ti/Mn/Co/Ni/Cu/W/Zn/Cr}$ , степень замещения  $x(\text{Al})$  – до 1,1,  $x(\text{Ti})$  – до 1,3,  $x(\text{Mn})$  – до 1,7,  $x(\text{Ni})$  – до 0,29,  $x(\text{Co})$  – до 0,31,  $x(\text{Cu})$  – до 0,032,  $x(\text{W})$  – до 0,06,  $x(\text{Zn})$  – до 0,065,  $x(\text{Cr})$  – до 0,07;  $\text{Ba}_{1-y}\text{Pb}_y\text{Fe}_{12-x}\text{Me}_x\text{O}_{19}$ , где  $\text{Me}$  –  $\text{Al/Ti}$ , степень замещения  $x(\text{Al})$  – до 5,  $x(\text{Ti})$  до 1,  $y$  – до 0,3. Особо следует подчеркнуть, что для ряда допантов указанные степени замещения для объемных монокристаллов получены впервые в мире. Кроме того, в главе приведены результаты комплексного исследования кристаллической структуры и магнитных свойств полученных монокристаллов.

В пятой главе сформулированы закономерности структурных параметров и функциональных характеристик твердых растворов ферритов  $\text{Ba}_{1-y}\text{Pb}_y\text{Fe}_{12-x}\text{Me}_x\text{O}_{19}$ . Так, для широкого ряда допантов ( $\text{Al/Ti/Mn/Co/Ni/Cu/W/Zn/Cr}$ ) установлена зависимость параметров кристаллической решетки объемных монокристаллов твердых растворов на основе гексагональных ферритов от содержания и ионного радиуса замещающих железо элементов; зависимость магнитных характеристик – температуры Кюри, намагниченности насыщения от содержания и магнитного момента замещающих железо ионов. На основании результатов спектроскопии рентгеновского поглощения для замещенных титаном, марганцем и хромом монокристаллических образцов установлен механизм замещения. Для замещенных алюминием и титаном ферритов установлена связь между

Несмотря на высокий общий научный уровень представленной диссертационной работы, надежность используемых современных методов и убедительность полученных результатов, к ее автору могут быть сформулированы следующие замечания:

1. Следовало бы более четко сформулировать, было ли реализовано выращивание на затравку. Если да, то монокристаллы каких составов и размеров были получены.

2. Следовало бы большее внимание уделить объяснению выбора скорости охлаждения при выращивании монокристаллов.

Оценивая работу в целом, следует заключить, что, несмотря на отмеченные замечания, по объему и качеству выполненного исследования, по уровню поставленных и решенных теоретических задач, по степени практической значимости она, безусловно, соответствует требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней" ВАК Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 02.00.04 - физическая химия. Результаты работы в достаточной степени представлены в статьях автора, опубликованных в научных изданиях высокого уровня. Работа прошла достаточную апробацию на российских и зарубежных конференциях. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. Считаю, что Винник Денис Александрович заслуживает присвоения искомой степени доктора химических наук по специальности 02.00.04 - физическая химия.

Профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет»,

доктор химических наук

20.01.2018 г.

Трунин Александр Сергеевич

443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, СамГТУ

8(846) 332-42-32, 8-937-985-8095, trunin.as@samgtu.ru

