

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СИНТЕЗА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ Шабура М.А., Колонтаева Т.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Целью данной научной работы является проведение критического обзора литературы в области синтеза материалов с сегнетоэлектрическими свойствами.

Сегнетоэлектричество является достаточно широко распространенным явлением, и в настоящее время известно несколько сотен соединений, обладающих сегнето-электрическими свойствами. Выделяется особая группа кристаллов, в которых направление спонтанной поляризации может быть изменено внешним электрическим полем. Впервые это явление наблюдалось в 1920 году американским ученым Джозефом Валашеком на кристаллах сегнетовой соли. В русскоязычной литературе совокупность явлений, связанных с наличием в кристалле спонтанной поляризации, направление которой может быть изменено внешним электрическим полем и рядом сопутствующих свойств называют сегнетоэлектрическим эффектом, а материалы, в которых этот эффект имеет место, – сегнетоэлектриками [1, 2].

По типу химической связи и физическим свойствам все кристаллические сегнетоэлектрики принято подразделять на две большие группы: ионные сегнетоэлектрические кристаллы (сегнетоэлектрики типа смещения) и дипольные сегнетоэлектрические кристаллы (упорядочивающиеся сегнетоэлектрики) [2].

Свойства ионных и дипольных сегнетоэлектриков существенно различаются. Для структуры ионных сегнетоэлектриков характерно наличие кислородного октаэдра. У дипольных кристаллов сегнетоэлектриков имеются готовые полярные группы атомов, способные занимать различные положения равновесия. Сегнетоэлектрическими свойствами обладают также некоторые полупроводники и магнитоупорядоченные вещества.

Сегнетоэлектрические свойства обнаруживают не только твердые кристаллические вещества. Некоторые жидкие кристаллы и полимерные материалы тоже являются сегнетоэлектриками [2].

Современные сегнетоэлектрические материалы обычно имеют гетерогенную структуру. Большой интерес к исследованию свойств сложных композитных соединений в последнее время связан не только с тем, что такие структуры имеют аномальные свойства по сравнению с «обычными», однородными по составу веществами. Другой причиной является то, что подобные соединения могут оказаться значительно более дешевыми, чем однородные

структуры, при условии, что композит по ряду физических показателей и в диапазоне заданных параметров идентичен однородным веществам. Пьезоэлектрические композиционные материалы представляют собой n-фазные системы, одна фаза является сегнетоэлектриком. Оставшийся объем заполнен органической связкой, а также другими фазами (стекло, воздух и т.д.) [3].

Сегнетоэлектрическим нанокompозитным материалам как объектам, свойства которых чрезвычайно чувствительны к размерным эффектам, вызванным повышенной ролью поверхностных или граничных эффектов, что открывает новые возможности модификации свойств материалов и функциональных параметров приборов, уделяется особое внимание [4]. Авторы рассматривают концептуальные достижения теории сегнетоэлектричества, новые технологии получения тонких эпитаксиальных пленок оксидных сегнетоэлектриков и сверхрешеток и методы их исследования.

Сегнетоэлектрические материалы определяются как полярные материалы, которые обладают по меньшей мере двумя равновесными ориентациями вектора спонтанной поляризации в отсутствие внешнего электрического поля и в котором вектор спонтанной поляризации может переключаться между этими ориентациями электрическим полем [5]. Сегнетоэлектрические материалы также являются пьезоэлектрическими и пироэлектрическими. В структурах перовскита спонтанная поляризация обусловлена дальним упорядочением диполей элементарных ячеек, которые генерируются смещением центров положительных и отрицательных зарядов.

Сегнетоэлектричество, как и многие разделы физики находится в процессе непрерывного развития. Всегда идет углублённый процесс изучения знаний – этого вида диэлектриков и возможностей практического применения их уникальных свойств. В теории сегнетоэлектричества расширились возможности применения классической теории Ландау для описания свойств малоразмерных и нано размерных объектов, кристаллов с неоднородным распределением поляризации. В связи с появлением новых методов исследования свойств и природы явления сегнетоэлектричества расширились возможности экспериментального исследования физических свойств, доменной и кристаллической структуры объемных и наноструктурированных объектов сегнетоэлектриков.

Сейчас усиливается интерес к изучению керамических сегнетоэлектриков на микро- и субмикроскопическом уровне. Это объясняется

появлением новых технологических задач, таких как сегнетоэлектрических структур для оптики, микро- и радиоэлектронике. Особая роль в изучении сегнетокерамики отводится теоретическим методам, так как именно с их помощью возможно обобщение экспериментальных данных для строгого объяснения связи процессов, проходящих на макро и микроскопических уровнях.

Совершенно новым направлением является использование планарных сегнетоэлектрических структур в фотонике [6] – для создания активных волноводов, электрооптических модуляторов, в том числе фотонно-кристаллических. Рассматриваются свойства тонких пленок (Ba,Sr)TiO₃ и BiFeO₃ и наноструктур на их основе. Пленки изготавливаются методом высокочастотного распыления в атмосфере кислорода с повышенным давлением, наноструктуры – методом фокусированного ионного травления; электрическое поле прикладывается в планарной структуре встречно-штыревых электродов.

Разработанные материалы могут послужить основой создания высокоэффективных переключаемых фотонных кристаллов, которые можно использовать для маршрутизации информационных (световых) потоков в оптических интегральных схемах нового поколения [6].

Методы получения сегнетоэлектрических пленок непрерывно развиваются и совершенствуются буквально в каждой лаборатории, но по основным чертам можно выделить четыре наиболее перспективных направления: магнетронное напыление, лазерную абляцию, химическое осаждение из газовой фазы металлоорганических соединений и золь-гель процесс [7].

Ряд авторов уделяют внимание методам получения материалов с сегнетоэлектрическими свойствами [8,9]. К ним относят, прежде всего, твердофазный синтез. Накопленный обширный экспериментальный материал позволил в ряде случаев выяснить закономерности кинетики синтеза. В общем виде рассмотрены лишь отдельные энергетические условия стабилизации промежуточных и конечных структур, а также диффузионные механизмы массопереноса в процессах синтеза. К сожалению, многофакторность этих процессов и трудности теоретических моделей твердофазного синтеза пока не приводят к выработке априорных рекомендаций по оптимальному синтезу тех или

других перовскитовых соединений и их твердых растворов. Стремление устранить влияние состояния компонентов твердофазного синтеза и обеспечить максимальную гомогенность синтезированного материала привело к интенсивным работам по химическим методам синтеза. При этих методах из растворов солей выделяют твердую фазу с однородным распределением компонентов [8].

Использование растворов нитратов металлов наиболее удобно по возможностям вариаций химического состава и методам выделения твердой фазы (распылительная и сублимационная сушка, соосаждение гидроксидов и оксалатов, золь-гельный метод [9].

Не смотря на то, что понимание процессов, происходящих в сегнетокерамике, внесена определенная ясность, все же целый ряд вопросов, которые имеют научный и практический интерес, остается открытым.

Литература

1. Лайнс, М., Гласс, А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы / М. Лайнс, А. Гласс. – М.: Мир, 1981. – 736 с.
2. Свирская, С.Н. Общие сведения о диэлектриках. Сегнето-, пьезо- и пьезоэлектрики. Ч. 1: уч. пособ. для вузов. / С.Н. Свирская. – Ростов-на-Д.: РГУ, 2008. – 56 с.
3. Свирская, С.Н. Пьезокерамическое материаловедение: учебное пособие для вузов / С.Н. Свирская. – Ростов-на-Д.: ФФУ, 2009. – 82 с.
4. Рабе, К.М., Ан, Ч.Г., Трискон, Ж.М., Струков, Б.А., Лебедев А.И. Физика сегнетоэлектриков. Современный взгляд / К.М. Рабе, Ч.Г. Ан, М.Ж. Трискон. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 447 с.
5. Струков, Б.А., Леванюк, А.П. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах. / Б.А. Струков. М.: Наука, 1995. – 240 с.
6. Сигов, А.С., Мишина, Е.Д., Мухортов, В.М. Тонкие сегнетоэлектрические пленки: получение и перспективы интеграции / А.С. Сигов, Е.Д. Мишина, Е.Д. Мухортов // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, № 4. – С. 709–717.
7. Сигов, А.С. Сегнетоэлектрические тонкие пленки в микроэлектронике. / А.С. Сигов // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 10. – С. 83–91.
8. Таиров, Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов: учебное пособие для вузов / Ю.М. Таиров, В.Ф. Цветков. – СПб: Издат. Лань, 2002. – 424 с.
9. Панич, А.Е. Левина, Т.Г. Учебное пособие по курсу «Физика сегнетоэлектрической керамики» / А.Е. Панич, Т.Г. Левина. – Ростов-на-Д.: РГУ, 2002. – 45 с.