**Применение сегнетоэлектриков в приборостроении**

**Введение**

Сегнетоэлектриками называются вещества, обладающие спонтанной электрической поляризацией, которая может быть обращена приложением электрического поля E подходящей величины и определенного направления. Этот процесс, называемый переполяризацией, сопровождается диэлектрическим гистерезисом. Сегнетоэлектрики во многих отношениях являются электрическим аналогами ферромагнетиков, в которых намагниченность I может быть обращена магнитным полем H. Однако по своей микроскопической природе сегнетоэлектрики и ферромагнетики совершенно различны.

Сегнетоэлектрики отличаются большой диэлектрической проницаемостью, высоким пьезомодулем, наличием петли диэлектрического гистерезиса, интересными электрооптическими свойствами, и поэтому широко применяется во многих областях современной техники: радиотехнике, электроакустике, квантовой электронике и измерительной технике.

Сегнетоэлектрики обладают интересными электрическими свойствами; во многих твердых телах силы связи носят главным образом электрический характер, и тот факт, что в сегнетоэлектриках эти силы могут проявляется весьма ярко, существенно облегчает их изучение,

В термине «сегнетоэлектрики» нашел свое отражение тот факт, что первые сегнетоэлектрические свойства были обнаружены у сегнетовой соли. Позднее, однако, выяснилось, что сегнетова соль является не типичным сегнетоэлектрическим кристаллом.

Сегнетоэлектрики являются твердыми телами, причем все они неметаллы. Свойства сегнетоэлектриков проще всего изучать, если вещество находится в монокристаллическом состоянии.

Изучение свойств ферромагнетиков, известных с глубокой древности, началось примерно с 1600г; в дальнейшем исследования Вебера и Эвинга привели уже в 1907г к известной теории Вейса. Сегнетоэлектричество же было открыто лишь в 1921г Валашеком в сегнетовой соли. В настоящее время известно уже более 700 веществ, обладающих сегнетоэлектрическими свойствами.

Тремя наиболее яркими особенностями сегнетоэлектриков являются обратимая поляризация, «аномальные» свойства и нелинейности. Большинство сегнетоэлектриков перестает быть сегнетоэлектриками выше некоторой температуры ТK, называемой температурой перехода. Аномальное поведение вблизи ТK, вероятно не менее важно, чем обратимая поляризация, но оно не является достаточным определением сегнетоэлектрика. При температуре ТK диэлектрическая проницаемость резко возрастает до весьма больших значений; именно эти большие значения в окрестности ТK называют аномальными значениями.

**Общие сведения**

Классифицировать сегнетоэлектрики можно по разным признакам. Наиболее распространена классификация сегнетоэлектриков в соответствии со структурой и связанной с ней механизмом возникновения спонтанной поляризации при фазовом переходе. По этому признаку они подразделяются на сегнетоэлектрики типа «смещения», у которых переход в сегнетоэлектрическую фазу связан со смещением ионов, и сегнетоэлектрики типа «порядок-беспорядок», у которых при переходе в сегнетоэлектрическую фазу происходит упорядочение имевшихся в исходной фазе диполей.

Сегнетоэлектрики типа «смещения» подразделяются на две основные группы: группу перовскита и группу псевдоильменита.

Сегнетоэлектрики группы перовскита могут существовать в виде монокристаллов или керамики. Характерная особенность структуры кристаллов этой группы наличие кислородного октаэдра, внутри которого располагается 4- или 5- валентный ион Ti, Zr, Nb или другой ион с малым ионным радиусом. В параэлектрической фазе кристаллы этой группы имеют кубическую структуру. В вершинах куба располагаются ионы Ba, Pb, Cd и др. Ионы кислорода размещаются в центре граней куба, образуя октаэдр. Возникновение спонтанной поляризации в них связано с изменением ионов титана. Важная особенность таких сегнетоэлектриков способность образовывать твердые растворы с соединениями аналогичной структуры, например BaTiO3-SrTiO3, PbTiO3-PbZrO3. Это позволяет создавать керамику с заданными свойствами для многочисленных устройств: пьезопреобразователей, пьезоприводов, пьезодвигателей, позисторов, варикондов и др.

Сегнетоэлектрики группы псевдоильменита имеют ромбоэдрическую структуру. Характерная особенность кристаллов группы псевдоильменита высокая температура Кюри. Эти кристаллы наиболее широко применяются в акустических устройствах на поверхностных объемных волнах: пьезопреобразователях, полосовых фильтрах, резонаторах, линиях задержки, ВЧ акустооптических модуляторах; они применяются также в устройствах нелинейной оптики и электроники и в пироприемниках.

Сегнетоэлектрики типа «порядок - беспорядок» делятся на три основные группы: группу дигидрофосфата калия (KDP) дигидрофосфаты и дигидроарсенаты щелочных металлов (KH2PO4, PdH2PO4, KH2AsO4, RbH2AsO4, CsH2AsO4) и их дейтриевые аналоги; группу триглицинсульфата (ТГС) (NH2CH2COOH3)⋅H2SO4; жидкокристаллические сегнетоэлектрики. Упорядочивающимися элементами структуры в сегнетоэлектриках группы KDR являются протоны (дейтроны) в водородных связях. Возникновение спонтанной поляризации связано с тем, что положения всех протонов становятся упорядоченными. Основные применения этой группы кристаллов в устройствах нелинейной оптики и электрооптики. Сегнетоэлектрические свойства кристаллов группы ТГС обусловлены упорядочиванием протонов в водородных связях что приводит к возникновению диполей у молекул глицина и сульфатионов. Применяются в пироприемниках и мишенях пировидиконов.

Жидкокристаллические сегнетоэлектрики широкий класс жидких кристаллов, содержащих упорядочивающиеся полярные молекулы. Они обладают рядом электрических и оптических свойств, характерных для сегнетоэлектриков: резким фазовым переходом, сопровождающимся аномалиями тепловых, диэлектрических и оптических свойств; высокими значениями диэлектрической проницаемости (~ 102) и другими. Некоторые жидкокристаллические сегнетоэлектрики обнаруживают петли диэлектрического гистерезиса. Оптические свойства сильно зависят от температуры и направленности внешнего электрического поля; на этом основаны наиболее важные применения таких сегнетоэлектриков: оптические индикаторы, транспаранты, дисплеи и другие.

Ионные и дипольные сегнетоэлектрики существенно различаются по свойствам. Так, все соединения кислородно-октаэдрического типа нерастворимы в воде, обладают значительной механической прочностью, легко получаются в виде поликристаллов по керамической технологии. Наоборот, дипольные сегнетоэлектрики обладают высокой растворимостью в воде и малой механической прочностью. Например, растворимость сегнетовой соли в воде столь велика, что ее кристаллы можно распилить с помощью влажной нити. Благодаря высокой растворимости в воде можно легко вырастить крупные монокристаллы этих соединений из водных растворов.

Применение

В техническом применении сегнетоэлектриков наметилось несколько направлений, важнейшими из которых следует считать:

1) изготовление малогабаритных низкочастотных конденсаторов с большой удельной емкостью;

2) использование материалов с большой нелинейностью поляризации для диэлектрических усилителей, модуляторов и других управляемых устройств;

3) использование сегнетоэлементов в счетно-вычислительной технике в качестве ячеек памяти;

4) использование кристаллов сегнето- и антисегнетоэлектриков для модуляции и преобразования лазерного излучения;

5) изготовление пьезоэлектрических и пироэлектрических преобразователей.

Конденсаторная сегнетокерамика, как и любой диэлектрик, для производства обычных конденсаторов, должна иметь наибольшую величину диэлектрической проницаемости с малой зависимостью от температуры, незначительные потери, наименьшую зависимость ε и tgδ от напряженности электрического поля (малую нелинейность), высокие значения удельного объемного и поверхностного сопротивлений и электрической прочности.

Одним из важнейших методов получения оптимальных свойств в заданном температурном интервале является использование твердых растворов. Изменением концентрации компонентов в твердом растворе можно регулировать значения диэлектрической проницаемости, смещать температуру Кюри, изменять нелинейность поляризации и т. д. В твердых растворах, по сравнению с простыми веществами, можно получить более сглаженные температурные зависимости ε, что имеет важное значение для производства конденсаторов. Однако в большинстве случаев использование однофазных материалов, даже являющихся твердыми растворами, не может обеспечить достаточно слабую температурную зависимость ε. Для ослабления температурных зависимостей параметров конденсаторов в состав сегнетокерамики вводят различные добавки, которые «размывают» сегнетоэлектрический фазовый переход. В большинстве случаев конденсаторные сегнетокерамические материалы содержат несколько кристаллических фаз. При «размытом» фазовом переходе сравнительно слабо выражены и нелинейные свойства диэлектриков. В промышленности используют несколько сегнетокерамических материалов, каждый из которых применяют для определенных типов конденсаторов, так как ни один материал не отвечает совокупности всех перечисленных требований.

Среди существующей конденсаторной сегнетокерамики можно выделить:

1) материалы со слабо выраженной температурной зависимостью диэлектрической проницаемости, например, Т - 900;

2) материалы со сглаженной зависимостью диэлектрической проницаемости от температуры, например, СМ-1;

3) материалы с максимальным значением диэлектрической проницаемости в определенном интервале температур, например Т-8000.

В материале Т-900 кристаллическая фаза представляет собой твердый раствор титанатов стронция (SrTiO3) и висмута (Bi4Ti3O12). Максимум ε соответствует точке Кюри ТК = -140°С. Рабочий диапазон температур расположен значительно правее ТК, поэтому температурная зависимость ε слегка падающая.

Материал СМ-1 изготавливают на основе титаната бария с добавкой окислов циркония и висмута. Его применяют для производства малогабаритных конденсаторов на низкие напряжения.

Материал Т-8000 имеет кристаллическую фазу, представляющую собой твердый раствор ВаТiOз — ВаZr0з. Точка Кюри этого материала находится в области комнатной температуры, поэтому вблизи нее диэлектрическая проницаемость имеет максимальное значение. Данный материал используют для изготовления конденсаторов, работающих при комнатной температуре (в нешироком интервале температур), в том числе и высоковольтных.

Распространены и другие сегнетокерамические материалы для конденсаторов, отличающиеся большей диэлектрической проницаемостью и более сглаженной зависимостью ее от температуры.

Материалы для варикондов имеют резко выраженные нелинейные свойства; применяются для изготовления нелинейных конденсаторов — варикондов.

Одна из основных характеристик варикондов — коэффициент нелинейности К, определяемый как отношение максимального значения диэлектрической проницаемости при некоторой, максимальной для данного материала, напряженности электрического поля к начальному значению диэлектрической проницаемости. Численное значение коэффициента нелинейности для различных марок варикондов может изменяться от 4 до 50 (в переменном поле). Основной кристаллической фазой в таких материалах являются твердые растворы системы Ba(Ti,Sn)03 или Pb(Ti, Zr, Sn)03.

Вариконды предназначены для управления параметрами электрических цепей за счет изменения их емкости при воздействии как постоянного или переменного напряжения, так и нескольких напряжений, приложенных одновременно и различающихся по значению и частоте. В простейшем случае им приходится работать при одновременном воздействии переменного (синусоидального) и постоянного электрических полей, причем Е\_ >> E~. Как отмечалось, изменение поляризации сегнетоэлектрика в этих условиях определяется реверсивной диэлектрической проницаемостью εР. Она характеризует степень ориентируемости электрических моментов доменов переменным полем при наличии преимущественной направленности их действием постоянного поля. Чем сильнее приложенное к сегнетоэлектрику постоянное поле, т. е. чем больше направленность электрических моментов доменов, тем меньше влияние на суммарную электрическую индукцию в сегнетоэлектрике оказывает переменное поле. Следовательно, при заданной амплитуде переменного поля ЕM реверсивная диэлектрическая проницаемость εР с ростом Е\_ уменьшается.

Нелинейные диэлектрические элементы, обычно в тонкопленочном исполнении, являются основой разнообразных радиотехнических устройств — параметрических усилителей, низкочастотных усилителей мощности, фазовращателей, умножителей частоты, модуляторов, стабилизаторов напряжения, управляемых фильтров и др.

В качестве примера использования варикондов приведем принципиальную схему диэлектрического усилителя, основанного на изменении емкости нелинейного конденсатора Свар под влиянием поля входного сигнала Uвх, обусловливающем изменение тока в нагрузке Iн.

Сегнетоэлектрики с ППГ. В адресных регистрах вычислительных машин многократно используются переключатели, с помощью которых производится выбор требуемой ячейки памяти. При разработке вычислительных машин предпринимаются меры для уменьшения времени срабатывания этих переключателей число необходимых селекторов.

В 1952г Андерсон высказал предположение, что сегнетоэлектрики с хорошей прямоугольной петлей гистерезиса можно использовать в качестве элементов запоминающих устройств вычислительных машинах с возможной матричной селекцией. Для этих целей необходим материал с возможно более прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ), что характерно для монокристаллов (например, триглицинсульфата). В отсутствие внешнего поля сегнетоэлектрик с ППГ имеет два устойчивых состояния, соответствующих различным направлениям остаточной электрической индукции. Одно из этих состояний в запоминающей ячейке означает хранение единицы, а другое — хранение нуля. Подавая внешнее напряжение различной полярности, сегнетоэлектрик можно переводить из одного состояния в другое. На этом основаны запись, считывание и стирание информации. Считывание информации можно осуществить без её разрушения, например, оптическим методом или измерением сопротивления тонкой полупроводниковой пленки, нанесенной на поверхности сегнетоэлектрика.

Время переключения ячейки пропорционально толщине кристалла и при толщинах в несколько десятых долей миллиметра составляет несколько микросекунд. В сегнетокерамике процесс переполяризации в отдельных зернах происходит независимо, и время прорастания доменов определяется размерами зерен, которые можно уменьшить до нескольких микрометров. В этом случае достигается более высокое быстродействие, чем в монокристаллах, хотя ухудшается прямоугольность петли гистерезиса.

Пьезоэлектрические и пироэлектрические преобразователи. Наиболее широкое применение в качестве пьезоэлектрического материала находит сегнетоэлектрическая керамика. Полярную сегнетокерамику, предназначенную для использования в пьезоэлектрических преобразователях, называют пьезокерамикой.

Основным материалом для изготовления пьезокерамических элементов являются твердые растворы PbZrO3 PbTiO3 (ЦТС). Эта керамика широко используется для создания мощных ультразвуковых излучателей в широком диапазоне частот для целей гидроакустики, дефектоскопии, механической обработки материалов. Такие ультразвуковые генераторы применяются также в химической промышленности для ускорения различных процессов и в полупроводниковой технологии для эффективной промывки и обезжиривания полупроводниковых пластин с помощью ультразвуковой ванны. Из пьезокерамики делают малогабаритные микрофоны, телефоны, громкоговорители, слуховые аппараты, детонаторы, различные устройства поджига в газовых системах. Пьезокерамические элементы можно использовать в качестве датчиков давлений, деформаций, ускорений, вибраций. Двойное преобразование энергии положено в основу работы пьезорезонансных фильтров, линий задержки и пьезотрансформаторов.

Пироэлектрический эффект проявляется в поляризованной сегнетокерамике, хотя пироэлектрических образцов заметно хуже, чем у монокристаллов. Для изготовления фотоприемников можно использовать все виды пьезокерамики, однако наиболее подходящим материалом для этих целей является керамика ЦТСЛ. Введение добавки окиси лантана позволяет приблизить температуру Кюри к комнатной и получить более высокие значения пироэлектрических коэффициентов.

**Заключение**

Изучив данный класс материалов сегнетоэлектрики, мы нашли, что их самое замечательное свойство состоит в том, что в них существуют области одинаково направленной спонтанной поляризации сегнетоэлектрические домены. Под влиянием внешних воздействий сегнетоэлектрики могут переходить из многодоменного состояния в монодоменное. Это свойство сегнетоэлектриков используется для создания на их основе ЗУ ЭВМ. Многие сегнетоэлектрики обладают аномально высокими значениями диэлектрической проницаемости и пьезоэлектрических констант, сильной зависимостью физических свойств от температуры, достигающих экстремальных значений и максимальной нелинейности в окрестности точки фазового перехода сегнетоэлектрика в сегнетоэлектрическую фазу.

**Список литературы**

Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники, 2-е изд. М.: ВШ., 1986.

Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. Смоленский Т.А., Боков В.А., Крайник Н.Н., Пасынков Р.Е., Шур М.С. изд-во «Наука»., М, 1979.

Дж Барфут. Введение в физику сегнетоэлектрических явлений. Пер. с англ. Н.Р. Иванова. Под ред. Л.А. Шувалова. Издат. «Мир» М. 1970.

Сегнетоэлектрики и ферромагнетики (Сборник статей. П.П. Пугачевич и др.) Калинин, 1973.