

### Тема 3.12 «Активные диэлектрики»

Диэлектрики, свойствами которых можно управлять с помощью внешних энергетических воздействий (электрических, магнитных, тепловых полей и т.д.), а также использовать эти воздействия для создания функциональных элементов электроники, относятся к группе активных диэлектриков. Различают: сегнето-, пьезо- и пьезоэлектрики; электреты; электрооптические материалы и др.

*Сегнетоэлектрики* - вещества, обладающие спонтанной (самопроизвольной) поляризацией в определенном диапазоне температур, направление которой может быть изменено под действием внешнего электрического поля.

Спонтанной называется поляризация, которая возникает в диэлектрике под влиянием внутренних процессов, без внешних воздействий и связана с особенностями сегнетоэлектриков.

Объем сегнетоэлектрика разделен на домены – макроскопические области с различным направлением векторов спонтанной поляризации  $P_c$ . В отсутствие внешнего электрического поля суммарная поляризованность образца в целом равна нулю. При воздействии внешнего электрического поля векторы спонтанной поляризации диполей ориентируются в основном в направлении поля, что вызывает эффект очень сильной поляризации, следствием чего является сверхвысокое значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ .

Доменное строение сегнетоэлектриков является следствием нелинейной зависимости поляризованности  $P$  от напряженности электрического поля  $E$ , которая при циклическом изменении напряженности поля имеет вид замкнутой кривой и носит название диэлектрической петли гистерезиса.

Температура  $T_k$ , при которой возникает (при охлаждении) или исчезает (при нагревании) спонтанная поляризация, называется сегнетоэлектрической точкой Кюри, ниже которой сегнетоэлектрик обладает доменной структурой и характерными сегнетоэлектрическими свойствами, а выше которой происходит распад доменной структуры и сегнетоэлектрик переходит в параэлектрическое состояние. При температуре, соответствующей точке Кюри, значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  максимальна.

Рассмотренные особенности поляризации впервые были открыты у кристалла сегнетовой соли, отсюда и название сегнетоэлектрики.

В настоящее время известно несколько сотен сегнетоэлектриков, которые по типу химической связи и физическим свойствам принято подразделять на:

- 1) ионные кристаллы, к которым относятся титанат бария; титанат свинца; ниобат калия; барий-натриевый ниобат или сокращенно БАНАН и др.; они нерастворимы в воде, обладают значительной механической прочностью, легко получают методами керамической технологии.

2) дипольные кристаллы, к которым относятся сегнетова соль; триглицинсульфат; дигидрофосфат калия и др., обладают малой механической прочностью и растворимостью в воде, благодаря чему можно вырастить крупные монокристаллы этих соединений из водных растворов.

Сегнетоэлектрики находят применение для изготовления малогабаритных низкочастотных конденсаторов с большой удельной емкостью, материалов с большой нелинейностью поляризации для диэлектрических усилителей, модуляторов и других управляемых устройств, для модуляции и преобразования лазерного излучения, в пьезо- и пирозлектрических преобразователях.

Электрооптические свойства сегнетоэлектрических кристаллов используют для модуляции лазерного излучения, осуществляемого электрическим полем, приложенным к кристаллу. Отметим, что все сегнетоэлектрики обладают пьезоэлектрическим эффектом, однако обратное несправедливо.

*Пьезоэлектрики* – это вещества с сильно выраженным пьезоэлектрическим эффектом.

Прямой пьезоэлектрический эффект называют явление поляризации диэлектрика под действием механических напряжений. Возникающая при этом поляризованность прямо пропорциональна приложенному механическому напряжению. Материалы с прямым пьезоэффектом используют для преобразования механических напряжений или смещений в электрические сигналы (звукосниматели, приемники ультразвука, датчики деформаций).

При обратном пьезоэффекте происходит изменение формы диэлектрика под действием приложенного электрического поля. При этом размеры меняются по линейному закону. Обратный пьезоэффект используют для преобразования электрических сигналов в механические (акустические излучатели, генераторы ультразвука).

В различных пьезопреобразователях используют кристаллы кварца, сульфата лития, сегнетовой соли, ниобата и танталата лития. Пьезокерамика используется для изготовления малогабаритных микрофонов, телефонов, детанаторов, датчиков давления, деформаций, ускорений, вибраций, пьезорезонансных фильтров, пьезотрансформаторов и др.

*Пирозлектрики* – диэлектрики, обладающие пирозлектрическим эффектом, который состоит в изменении спонтанной поляризованности диэлектриков при изменении температуры. К типичным линейным пирозлектрикам относятся турмалин и сульфат лития. Пирозлектрики спонтанно поляризованы, но, в отличие от сегнетоэлектриков, направление их поляризации не может быть изменено электрическим полем. Пирозэффект используется для создания тепловых датчиков и приемников лучистой энергии, предназначенных, в частности, для регистрации инфракрасного и сверхчастотного излучения. Значительным пирозэффектом обладают

некоторые сегнетоэлектрические кристаллы, к числу которых относятся ниобат бария-стронция, триглицинсульфат (ТГС), ниобат и танталат лития.

*Электреты* – диэлектрики, способные длительное время сохранять поляризованное состояние и создавать в окружающем их пространстве электрическое поле за счет предварительной электризации или поляризации. Остаточная поляризация в электретах в отличие от пьезоэлектриков и поляризованных сегнетоэлектриков скомпенсирована не полностью, что приводит у них к отличной от нуля внешней напряженности поля, которая может быть очень высокой. В зависимости от способа получения различают:

1) Электроэлектреты получают воздействием на диэлектрик только электрического поля при комнатной температуре.

2) Термоэлектреты получают при охлаждении нагретого или расплавленного диэлектрика в сильном электрическом поле. После охлаждения подвижность полярных молекул или свободных зарядов резко уменьшается и диэлектрик может сохранять остаточную поляризацию длительное время.

3) Фотоэлектреты получают при совместном действии электрического поля и световой энергии на материалы, обладающие фотопроводностью. После прекращения воздействия световой энергии носители разноименных зарядов оказываются «замороженными» у противоположных сторон диэлектрика, который превращается в электрет.

4) Радиоэлектреты получают при воздействии на диэлектрик радиоактивного излучения (ускоренных заряженных частиц). В результате ударной ионизации поверхностного слоя или внедрения в поверхностный слой диэлектрика ускоренных заряженных частиц на поверхности диэлектрика образуется заряженный слой.

5) Трибоэлектреты получают при трении двух диэлектриков. При плотном контакте двух диэлектриков электроны диэлектрика с меньшей работой выхода переходят в диэлектрик с большей работой выхода. С течением времени заряд электрета изменяется, что связано с разрушением остаточной поляризации. Время, в течение которого значение стабилизированного заряда уменьшается в 2,72 раза, называют временем жизни электрета. Оно может равняться десяткам лет, а для хороших электретов – сотням лет.

Электреты разрушаются при плавлении или воздействии сильного переменного электрического поля, ультразвука и поля высокой частоты.

Электреты применяют при изготовлении электростатических вольтметров, элементов электрической памяти, дозиметров проникающей радиации, для световой записи информации на диэлектрическую пленку (аналогично записи на магнитную ленту). Синтетические пленочные электреты применяют в качестве мембран в микрофонах, в вибропреобразователях. Природные электреты не применяются для изготовления изделий радиоэлектроники.