



ВВЕДЕНИЕ

Для современной электронной техники важное значение приобрели помимо изоляционных и другие свойства твердых и жидких непроводников электричества, позволяющие использовать их для **преобразования энергии или информации**. Например, **пьезоэлектрики**, преобразующие механическую энергию в электрическую и обратно, находят применение в пьезофильтрах, излучателях ультразвука, пьезотрансформаторах и пьезодвигателях.

Пироэлектрики, преобразующие тепловую энергию в электрическую, находят применение в чувствительных приемниках излучений, тепловых электронных трубках и других приборах.



Нелинейные свойства сегнетоэлектриков и параэлектриков, постоянные электрические поля, создаваемые электретами, высокая оптическая активность жидких кристаллов

позволяют использовать такие активные диэлектрики для модуляции, детектирования, усиления, регистрации, запоминания, отображения и других видов преобразования электрических и оптических сигналов, несущих информацию. Одним из путей является повышение полифункциональности электронных устройств и поиск новых научно-технических решений в области информационной и преобразовательной техники, в частности с использованием устройств на активных диэлектриках.



Применение диэлектрических преобразователей в радиоэлектронике началось с изобретения гидролокатора на основе кварцевого излучателя ультразвука П. Ланжевенном (в 1916 г.) и с изобретения У. Кэди пьезоэлектрического кварцевого резонатора (в 1920 г.). Затем последовали работы И. В. Курчатова (1928 – 1932 гг.) по изучению первых сегнетоэлектриков; открытие Б. М. Вулом (1945 г.) сегнетоэлектрических свойств титаната бария, а также бурное развитие с 60-х годов твердотельных лазеров и нелинейной оптики после пионерских работ А. М. Прохорова и Н. Г. Басова, Т. Меймана, Р. В. Хохлова и Н. Бломбергена. В области физики и техники сегнетоэлектриков и пьезоэлектриков выдающуюся роль сыграли отечественные научные школы Г. А. Смоленского (Физико-технический институт РАН, Санкт-Петербург) и Ростовского государственного университета.



Важную роль эти материалы играют также в области миниатюризации телекоммуникационной и СВЧ аппаратуры. По этим причинам в области физического материаловедения в последние годы отмечается повышенный интерес к сегнетоэлектрикам, пироэлектрикам и пьезоэлектрикам — именно в виду их новых применений в приборостроении и электронике, а также вследствие значительного прогресса в области современных микроэлектронных и наноэлектронных технологий.



Перечисленные материалы электронной техники в зарубежной литературе называют *smart materials*, а в отечественной литературе их относят к *активным диэлектрикам*.

Эти материалы особенно актуальны для современного и будущего приборостроения, основанного на *микромеханике (micromashining)*. Под *микромеханикой* понимают применение микроэлектронных *групповых технологий* для самых различных областей техники. По технологическим приемам и оборудованию современная микромеханика органически связана с микроэлектроникой и *нанoeлектроникой*.



Среди современных применений «активных» диэлектриков следует отметить три особенно актуальных направления:

- (1) тонкие сегнетоэлектрические пленки, интегрированные с полупроводниками;
- (2) микросистемы, объединяющие сенсоры, процессоры и актюаторы;
- (3) сверхвысокочастотные (СВ Ч) компоненты на основе активных диэлектриков.



Активные диэлектрики можно определить как материальные среды, позволяющие получать непосредственное преобразование энергии и информации. Так, *пьезоэлектрик преобразует электрическую энергию в механическую (и обратно).*

Пироэлектрик является теплоэлектрическим (и, соответственно, электротепловым) преобразователем энергии.

Магнитная энергия в некоторых материалах также может быть обратимо преобразована в механическую и тепловую энергии.

Нелинейные магнитные и диэлектрические устройства позволяют преобразовывать частоту, производить модуляцию и детектирование – преобразовывать информацию.

Эти преобразовательные функции обусловлены физической структурой и химическим составом некоторых материалов, главным образом, диэлектриков.



«Воздействие» на материал производится извне приложением различных полей, — электромагнитных, механических и тепловых.

В диэлектриках в первую очередь выделяется воздействие на них электрическим полем (как известно, в металлах и полупроводниках электрическое поле экранируется свободными носителями заряда и практически равно нулю). При воздействии на диэлектрик других

полей (механического, теплового, магнитного), а также при действии разных излучений (свет, радиоактивность, быстрые частицы и др.) в диэлектриках, прежде всего, рассматриваются изменения их *электрических свойств*.



Под «откликом» материала понимают индуцированные в нем физические явления. Это могут быть не только электрический ток или напряжение (создаваемое зарядами на поверхности диэлектрика), но также и его намагничивание, деформация, изменение температуры вещества и др.



В таблице 1.1 приведена классификация основных физических эффектов, которые могут проявляться в различных диэлектриках.

Основные эффекты в «активных» (*smart*) диэлектриках

Отклик Воздействие	Электрический	Магнитный	Механический	Тепловой	Изменение оптических свойств
Электрическое поле	Поляризация, электрический ток	Электромагнитный эффект	Обратный пьезоэффект	Электрокалорический эффект	Электрооптический эффект
Магнитное поле	Магнитоэлектрический эффект	Намагничивание	Магнитострикция	Магнитокалорический эффект	Магнитооптический эффект
Механическое напряжение	Прямой пьезоэффект	Пьезомагнитный эффект	Деформация	Упруготепловой эффект	Фотоупругий эффект
Изменение теплоты	Пирозлектрический эффект	Терромагнитный эффект	Термическое расширение	Теплоемкость	Термооптический эффект
Свет	Фотовольтаический эффект	Фотوماгнитный эффект	Фотострикция	Поглощение света	Преломление и отражение



«Воздействиями» служат как *векторные поля* – электрическое, магнитное, температурное, высокочастотное электромагнитное (свет), так и *тензорные поля*, например, *поле механических напряжений*. «Тривиальными» или обычными можно назвать те отклики-эффекты, при которых природа отклика соответствует природе воздействия, например, *электрическое поле приводит к электрическому току (или поляризации)*, что описывается соответственно такими параметрами как «проводимость» и «диэлектрическая проницаемость» (в верхнем квадратике по диагонали таблицы). Остальные «тривиальные» параметры расположены на главной диагонали приведенной таблицы-матрицы. Эти очевидные эффекты имеют место не только в активных диэлектриках, но и любых диэлектрических материалах. Поэтому диэлектрики, в которых имеют место только «тривиальные» эффекты, могут называться «обычными», и они играют в технике свою важную и вполне определенную роль.



В нашем случае, однако, особенный интерес представляют те материалы, в которых возможны «перекрестные», *недиагональные* эффекты. В ряде случаев эти эффекты проявляются настолько сильно, что они позволяют отнести соответствующие материалы к «активным» (их в англоязычной литературе относят к «*смартам*»).

Таковы пьезоэлектрики и пьезоэлектрики, а также соответствующие им магнитные и оптические аналоги. Как правило, перекрестные электрические и оптические эффекты наиболее сильны в сегнетоэлектриках.



Разработка новых типов диэлектриков, а также внедрение и производство современных устройств функциональной электроники требуют всестороннего ознакомления со свойствами этих материалов.

