

Лекция 12. Поляризация диэлектриков

Согласно современным представлениям эффект поляризации сводится к изменению положения в пространстве частиц диэлектрика, имеющих электрический заряд. В результате такого смещения заряженных частиц каждый макроскопический объем диэлектрика приобретает некоторый наведенный (индуцированный) электрический момент. К заряженным частицам в диэлектриках относятся электроны, ионы, полярные молекулы.

Если электроны, ионы или молекулы в кристаллических диэлектриках достаточно жестко связаны в решетке, то внешние воздействия могут привести лишь к очень малым по сравнению с параметрами решетки смещениям частиц. Однако и такие малые смещения приводят к значительному суммарному изменению электрических свойств. Такой механизм поляризации называется упругим.

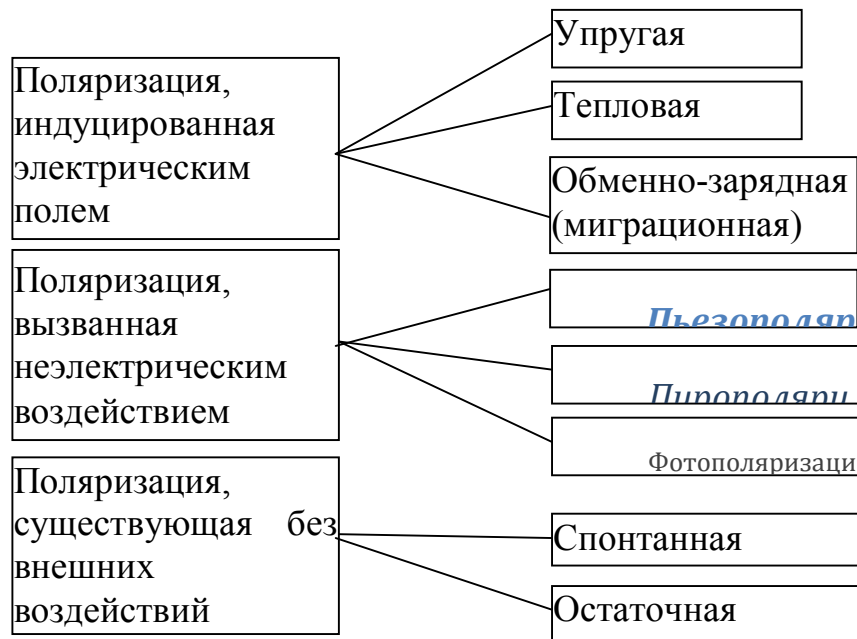
При слабой связи электронов, ионов или молекул в кристаллической структуре на поляризацию может влиять тепловое движение частиц. Такая поляризация называется термической или тепловой. В твердых диэлектриках смещение электронов, ионов и молекул под действием теплового движения может достигать значений порядка атомного размера. Однако это смещение носит хаотический характер и не приводит к поляризации. Поляризация возникает только при одновременном приложении электрического поля с повышением температуры.

Итак, поляризация твердой среды, т.е. возникновение электрического дипольного момента P , может происходить под действием приложенного электрического поля E , упругой деформации u (пьезоэлектрический эффект), изменения температуры ΔT (пироэлектрический эффект), магнитного поля ΔH (магнитоэлектрический эффект). Поляризация может существовать и без любых внешних воздействий, она получила название спонтанной поляризации.

Различают следующие виды упругой поляризации в приложенном электрическом поле (табл.1.1).

1. Электронная упругая поляризация, обусловленная смещением в электрическом поле электронных оболочек атомов относительно их ядер. При этом процессе происходит искажение конфигурации электронного облака вокруг ядра. Основное участие принимают валентные электроны, поскольку они наиболее слабо связаны с ядром. Электронная поляризация присуща всем веществам, однако она мала по сравнению с другими видами поляризации и может «маскироваться». В принципе, в электрическом поле должны смещаться и атомы, но поскольку $m_e \sim 10^{-5} m_{\text{атом}}$, то их смещение будет крайне незначительным, кроме ионных кристаллов. Время установления электронной поляризации составляет 10^{-12} - 10^{-17} с.

Таблица 1.1 Классификация механизмов поляризации диэлектриков



2. Ионная упругая поляризация. Имеет место в ионных кристаллах. Она обусловлена упругим смещением разноименных ионов из положения равновесия под действием приложенного электрического поля. При малом смещении иона возникает упругая возвратная сила, вследствие чего ионы возвращаются в первоначальное положение после окончания действия электрического поля. Время установления ионной поляризации составляет 10^{-14} - 10^{-15} с. Вклады ионной и электронной поляризаций в ионных кристаллах аддитивны, т.е. поляризации складываются линейно без взаимного искажения.

3. Дипольная упругая поляризация. Другое название – ориентационная поляризация. Это поляризация молекул, обладающих собственным электрическим дипольным моментом. Упругий характер поляризации обусловлен достаточно жесткими связями между диполями, т.е. полярными молекулами. В этом случае включение электрического поля приводит к преимущественной ориентации диполей в направлении приложенного поля. Дипольная поляризация наблюдается в жидких кристаллах.

Поляризация, обусловленная тепловым движением, наиболее характерна для веществ с большим количеством дефектов структуры.

Электронная термическая поляризация характерна для твердых диэлектриков, обладающих большим количеством структурных и примесных дефектов. Электроны, захваченные дефектами, создают неравномерности в распределении заряда в кристаллической решетке. Поскольку они легче возбуждаются при нагревании, чем электроны, находящиеся в валентной зоне диэлектрика, то именно свободные электроны от ловушечных центров скорее перераспределяются среди дефектных или примесных центрах в приложенном электрическом поле.

Ионная термическая поляризация возможна только в твердых диэлектриках с выраженной нерегулярностью кристаллической структуры. Она преобладает в стеклах и керамике. Под влиянием термических флуктуаций могут изменять положение ионы, находящиеся в междоузлиях, и ионные вакансии. Их перераспределение происходит в приложенном электрическом поле.

Дипольная термическая поляризация характерна для таких твердых диэлектриков, у которых полярные молекулы могут изменять свою ориентацию, участвуя в тепловом хаотическом движении. Приложенное электрическое поле приводит к преимущественной ориентации диполей в направлении поля.

Спонтанная (самопроизвольная) поляризация возникает в определенном температурном диапазоне, ограниченном сегнетоэлектрическими точками Кюри, под влиянием внутренних процессов. Ее возникновение вызвано фазовым переходом второго рода из неполярной в полярную фазу. При этом структура элементарной ячейки кристалла становится несимметричной, приобретая электрический момент.

Остаточная поляризация сохраняется в диэлектриках длительное время после выключения поляризующего поля и объясняется «замораживанием» ориентаций молекул, ионных диполей или доменов, созданных электрическим полем.

Микроскопической характеристикой поляризации является поляризуемость частицы, определяющая электрический момент, приобретаемый частицей в электрическом поле.

Совокупность электрических моментов частиц p_i в единичном объеме вещества называется макроскопической поляризованностью P :

$$P = \Sigma p_i / V, \quad (1.14)$$

где V – объем вещества.

Для линейных диэлектриков поляризованность (или поляризация) прямо пропорциональна напряженности приложенного электрического поля:

$$P = \chi \epsilon_0 E, \quad (1.15)$$

где χ – диэлектрическая восприимчивость (безразмерная величина), ϵ_0 – электрическая постоянная, характеризующая электрическое поле в условиях отсутствия его взаимодействия с веществом.