ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
Т. 63, № 2 ФИЗИКА 2020

УДК 538.62, 548:537.611.46 DOI: 10.17223/00213411/63/2/91

В.А. КАЛЫТКА[1], А.Д. МЕХТИЕВ[2], А.В. БАШИРОВ[3], А.В. ЮРЧЕНКО[2], А.Д. АЛЬКИНА[1]

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ИОННЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ СО СЛОЖНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Методами квазиклассической кинетической теории исследуются явления нелинейной релаксационной поляризации в ионных диэлектриках со сложной структурой кристаллической решетки (слоистые кристаллы, керамика, перовскиты, вермикулиты и др.), характеризуемые высокой ионной проводимостью. Частным случаем материалов данного класса являются протонные полупроводники и диэлектрики (слюды, тальк, пирофиллит и др.), характеризуемые в достаточно широком диапазоне параметров полей (100 кВ/м – 1000 МВ/м) и температур (1–1500 К) высокой протонной проводимостью. На основании уравнения неразрывности тока ионов строится обобщенное кинетическое уравнение, описывающее перенос электрического заряда в ионных диэлектриках в переменном поляризующем поле, при блокирующих электродах. Нелинейность математической модели обеспечивается зависимостями коэффициентов диффузии и подвижности ионов от параметров неоднородного электрического поля в диэлектрике. Показано, что известное в кинетической теории уравнение Фоккера – Планка является «нулевым» по малому безразмерному параметру приближением от обобщенного нелинейного кинетического уравнения. Поляризация диэлектрика записана из решения уравнения Фоккера – Планка в бесконечном приближении теории возмущений (k = 1, 2, 3, …) для произвольного значения показателя кратности r по частоте переменного поля. Спектры комплексной диэлектрической проницаемости, построенные на основной частоте переменного поля (r = 1), с учетом всех последующих (начиная со второго) приближений теории возмущений ($k > 1$), существенно отличаются от классических законов дебаевской дисперсии (соответствующих первому приближению теории возмущений (k = 1)). Заложены теоретические основы для алгоритмов программ компьютерного прогнозирования свойств и параметров электротехнических материалов для функциональных элементов в схемах устройств микроэлектроники, изоляционной техники и энергонезависимых быстродействующих запоминающих устройств.

Ключевые слова: *ионные диэлектрики со сложной структурой кристаллической решетки, ионные проводники, протонные полупроводники и диэлектрики, комплексная диэлектрическая проницаемость, методы квазиклассической кинетической теории, нелинейное кинетическое уравнение ионной релаксации и проводимости, метод последовательных приближений.*

Введение

Существенный научно-практический интерес для современной промышленности представляют твердотельные материалы с высокой ионной проводимостью (ионные кристаллы), характеризуемые сложной кристаллической структурой на основе ионно-молекулярных связей (слоистые кристаллы, кристаллы корундо-циркониевой керамики (КЦК), вермикулиты, перовскиты и др.) [1]. Частным случаем материалов данного класса являются кристаллы с водородными связями (КВС), которые по свойствам и структуре кристаллической решетки разделяют на слоистые силикаты (слюды (флогопит, мусковит, биотит), тальк, пирофиллит, глинистые минералы, галлуазиты, монтмориллониты и др.) и кристаллогидраты (халькантит, мелантерит, эпсомит и др.) [1]. По электрофизическим свойствам КВС определяют как протонные полупроводники и диэлектрики (ППД) [1], характеризуемые наличием в их структуре водородной подрешетки и свойством протонной проводимости, связанной с диффузионным переносом ионов водорода (протонов) по водородным связям в направлении силовых линий внешнего электрического поля [11–16]. К классу КВС относятся такие сегнетоэлектрические кристаллы, как KDP и DKDP, используемые в электрооптических технологиях и лазерной технике в качестве регуляторов параметров когерентного излучения в электрических затворах [17, 18].

Ионные кристаллы и их композиты (МДП-, МПМ-структуры и др.) используются в качестве: нелинейных преобразователей оптических сигналов [2–8], элементов электрической изоляции для токоотводящих частей электрогенераторов ТЭС и электроприводов [9], элементов электрически управляемых конденсаторов с высокой электроемкостью, топливных элементов для водородной энергетики [10], элементов электронно-управляемых систем СВЧ-диапазона и др. Сегнетоэлектрики с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ), к которым относятся фоторефрактивные КВС типа KDP и DKDP, применяются в качестве элементов быстродействующих энергонезависимых

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725