

УДК 621.315

ИМПУЛЬСНЫЙ ПРОБОЙ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**КУРБАНОВ Э.Д., БОНДЯКОВ А.С.*, МУРАДОВА Р.А. *****Московский энергетический институт (технический университет)**Институт Физики НАН Азербайджана***Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия***

Настоящая статья посвящена разрядным процессам в твердых диэлектриках при воздействии на них высоковольтных наносекундных импульсов высокого напряжения. Рассматриваются условия образования плазменного канала и его динамика у катода и анода, механизм перехода от дозвукового распространения первичного канала к сверхзвуковому. Представлена количественная связь между электрическими параметрами импульсного разряда и свойствами диэлектриков.

Введение

В последние десятилетия особый интерес представляет изучение наносекундного импульсного разряда и его воздействие на электрофизические свойства твердых диэлектриков [1]. При больших перенапряжениях в твердых диэлектриках наблюдаются новые физические процессы, ранее малоизученные и представляющие огромный интерес для выявления взаимозависимости свойств твердых диэлектриков и пространственно-временных характеристик импульсного разряда. Исследование этих свойств необходимо для прогнозирования работы изоляторов в мощных энергоустановках и выборки соответствующих материалов для их надежной работы.

В данной статье анализируется механизм пробоя твердых диэлектриков при воздействии наносекундных импульсов, связанный с образованием в канале разряда убегающих электронов, приводятся количественные характеристики, связывающие термодинамические параметры канала разряда и физические свойства твердых диэлектриков.

Исследования импульсного разряда в твердых диэлектриках

При воздействии наносекундных импульсов высокого напряжения на твердые диэлектрики наблюдается процесс образования высокоэнергетичных электронов. В процессе воздействия мощных коротких импульсов необходимо учитывать скорость распространения импульсного разряда, параметры состояния плазмы в канале разряда, его геометрические размеры и т.д. Уже недостаточно знать только параметры, разрядного промежутка и импульса высокого напряжения. При прямом измерении скорости распространения каналов разряда методом электронно-оптической хронографии было установлено, что скорость звука является пределом для скоростей распространения канала разряда с катода и анода, т.е. $v_k < c_0 < v_a$ где v_k – скорость разряда с катода, v_a – скорость распространения разряда с анода, c_0 – скорость звука [2]. Изменение этой границы «сверху» и «снизу» за счет изменения параметров импульса (U , dU/dt) были безуспешными. Механизм перехода от дозвукового первичного канала к сверхзвуковому анодному требует специального изучения. Скорость v_a определяется преимущественно напряжением U_0 и соответствующим ему мгновенным значением dU/dt , а скорость v_k зависит исключительно от величины U_0 . Влияние d и dU/dt в этом случае отсутствует [3]. Это может быть связано с неустойчивостью фазовой границы твердого диэлектрика со своим расплавом. Сверхзвуковая скорость изменения кривизны границы при воздействии сверхсильных полей приводит к возникновению ударной волны, которая являет-

ся следствием бурного энерговыделения за счет инжекции электронов из валентной зоны в зону проводимости и образования комплекса «ударная волна + зона энерговыделения», получившего название электронной детонации. Убегающие электроны, участвующие в ударной ионизации валентной зоны твердых диэлектриков, обладают очень высокой энергией, и именно они объясняют физический механизм бурной инжекции электронов в зону проводимости при воздействии на диэлектрики высоковольтных наносекундных импульсов. В результате этого возникает плотная неидеальная плазма высокого давления, при саморазрушении которой выделяется энергия, запасенная в ионной подсистеме. Степень ионизации инжектированных электронов будет определяться [3] как

$$\chi_e = \omega \frac{\Delta}{v_a} \quad (1)$$

где $\omega = \frac{n}{N}$ - вероятность ионизации, c^{-1} , n – число электронно-дырочных пар, образующихся в ед. времени в ед. объема, N – число валентных электронов. В свою очередь ω зависит от ширины запрещенной зоны и определяется, как

$$\omega = \frac{n}{N} = \frac{(eEd^*)^2}{2\pi\hbar E_A^*} \exp\left(\frac{Ed^*}{eEd^*} \ln \frac{1}{\alpha}\right) \quad (2)$$

где α - отношение ширины валентной зоны к ширине зоны проводимости, E_d^* и d^* - соответственно эффективное значение ширины запрещенной зоны и постоянной решетки при ударном сжатии.

При сжатии твердых тел зависимость толщины запрещенной зоны от давления соответственно представляется следующей формулой

$$E_A^* = E_{A_0} - a_p \cdot \delta \quad (3)$$

где $a_p = \gamma \cdot \kappa$ - барический коэффициент, Дж Па⁻¹, κ – коэффициент сжимаемости, γ - коэффициент пропорциональности.

Эти выражения позволяют количественно оценить в диэлектриках зависимость давления P , вероятности ионизации ω , и значение E_A^* от скорости электронно-детонационной волны. Выявленные закономерности позволяют использовать представления и методы физики высоких плотностей энергии для описания динамики и параметров состояния вещества в канале разряда на фронте перехода при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях его распространения [4].

Очевидно, что скорость этого процесса в различных диэлектрических средах и его «стартовые» параметры (U^0 , dU/dt) представляют особый интерес.

Для корректного количественного учета влияния сжимаемости на процесс инжекции электронов в твердых диэлектриках необходимо проведение ряда экспериментов и теоретических исследований. Прежде всего, это относится к изучению влияния давления на электронную структуру широкозонных диэлектриков. Это позволит более строгое определение значений барических коэффициентов a_p . Можно сказать, что в этом случае зависимость эта будет нелинейной в широком интервале давлений.

Таким образом, при воздействии наносекундных импульсов высокого напряжения на твердые диэлектрики была установлена количественная связь между электрическими параметрами процесса, физическими свойствами диэлектрика, параметрами вещества за фронтом фазового перехода и пространственно-временными характеристиками импульсного разряда.

Заключение

Рассмотрен механизм пробоя твердых диэлектриков при воздействии наносекундных импульсов, процесс бурной инжекции электронов из валентной зоны в зону прово-

димости благодаря высокоэнергетичным электронам аномальной энергии. Была установлена количественная связь между электрическими параметрами процесса и физическими свойствами диэлектрика и их взаимное влияние друг на друга. Результаты анализа показали, что учет этого влияния может привести к коррекции существующих и выявлению новых, ранее не учитываемых явлений, происходящих в твердых диэлектриках.

-
1. *Вершинин Ю.Н.* Изв. РАН, Энергетика, 2 (2003) 152
 2. *Ю.Н. Вершинин, А.М. Гашимов, Э.Д. Курбанов.* ЭОМ, (2005) No.6, 72
 3. *Вершинин Ю.Н., Ильичев Д.С.* Электронная детонация в твердых диэлектриках. ДАН, том 365, №5, 1999, с.617-620
 4. *Вершинин Ю.Н., Ильичев Д.С., Морозов П.А.* Влияние ударного сжатия твердых диэлектриков на процесс инжекции валентных электронов в сильных электрических полях. ЖТФ, том 70, вып.1, 2000

BƏRK CİSİM HALINDA OLAN DİELEKTRİKLƏRİN İMPULS DEŞİLMƏSİ

KURBANOV E.D., BONDYAKOV A.S., MURADOVA R.A.

Məqalə bərk cisim halında olan dielektrlərdə yüksək gərginlikli nanosaniyə impulsların vastəsilə təsiz etdikdə, onlarda gedən fiziki proseslərinin tədqiqinə həsr olunmuşdur. Bərk cisim halında olan dielektrlərdə katod və anod yaxınlığında plazma kanalının və onun dinamikasının əmələ gəlməsi şərtləri müəyyənləşdirilmişdir. İmpuls boşalmasının elektrik parametrləri, dielektrlərin xüsusiyyətləri və termodinamik xarakteristikalar arasında əlaqələr təqdim olunmuşdur.

PULSED BREAKDOWN OF SOLID DIELECTRICS

GURBANOV E.D., BONDYAKOV A.S., MURADOVA R.A.

The present article to discharge processes in solid dielectrics under influence of high voltage nanosecond pulses is devoted. The discharge channel formation and its dynamics near cathode and anode, transition mechanism from subsonic diffusion of the initial channel to supersonic one is considered. Is presented a quantitative correlations between the electrical pulse parameters, dielectrics properties and space-charge characteristics of pulsed discharges.