

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В ВОЗДУХЕ ВДОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЭЛЕКТРЕТНОМ СОСТОЯНИИ

Т.И. ШАХТАХТИНСКИЙ

Азербайджанская Государственная Нефтяная
Академия, Баку, пр. Азадлыг, 20
(Поступило 10.01.96)

На основании изучения электрического разряда в воздушной среде вдоль поверхности предварительно электретированных полимерных диэлектриков показано, что поле ориентированных диполей и мигрирующих ионов, возникающее в результате электретирования полярных диэлектриков, создает условия для формирования облака одноименных с электродами заряженных частиц. Создающееся при этом поле объемных зарядов, в свою очередь, способствует распространению разряда вглубь межэлектродного пространства вдоль поверхности диэлектрика и понижению электрической прочности.

В электрическом поле высокой интенсивности, если между электродами наряду с газом находится и твердый диэлектрик, то при создании на поверхности последнего наиболее благоприятного условия вдоль раздела двух изоляционных сред возникает разряд. Для исключения электрического разряда вдоль поверхности диэлектрика необходимо обеспечить такое распределение напряженности поля у поверхности диэлектрика и в газовом промежутке, при котором

$$E_{n, \max} \leq E_{r, \max} \quad (1)$$

где E_n и E_r - напряженности поля соответственно у поверхности диэлектрика и в газовом промежутке. Неровности поверхности диэлектрика и вызванные ими искажения поля, а также зазоры между диэлектриком и электродами с повышенной напряженностью поля в них приводят к возникновению электрического разряда вдоль поверхности твердого диэлектрика и к снижению электрической прочности промежутка.

При устранении вышеуказанных факторов электрические прочности между электродами при наличии диэлектрика и без него значительно приближаются. Удлинение разрядного пути вдоль поверхности пути путем создания преград в виде ребер дополнительно уменьшает градиент напряженности по поверхности диэлектрика и приводит к выполнению условия (1).

В некоторых работах [1,2] показывается, что несмотря на выполнение условия (1) существуют факторы, воздействие которых увеличивает значения имеющейся на поверхности диэлектрика напряженности электрического поля до критического. Высказываются мнения, что одним из таких факторов может быть электретное состояние диэлектрической части изоляционной конструкции: находясь длительное время под воздействием рабочего напряжения, полимерные электронизолирующие материалы могут перейти в электретное состояние.

Влияние электретного состояния в диэлектриках на электрический разряд вдоль их поверхности нами изучалось на примере ряда полимерных пленок. На поверхности исследуемой пленки устанавливались вертикально два параллельных цилиндрических электрода из нержавеющей стали диаметрами 15 мм (рис. 1). Для создания беззазорного контакта торцы электродов тщательно полировались и прижимались к исследуемым образцам за счет тяжести электродов, соз-

давая давление 80 кПа. Один из электродов был заземлен, на другой подавалось напряжение. Расстояние между электродами изменялось передвижением одного из электродов

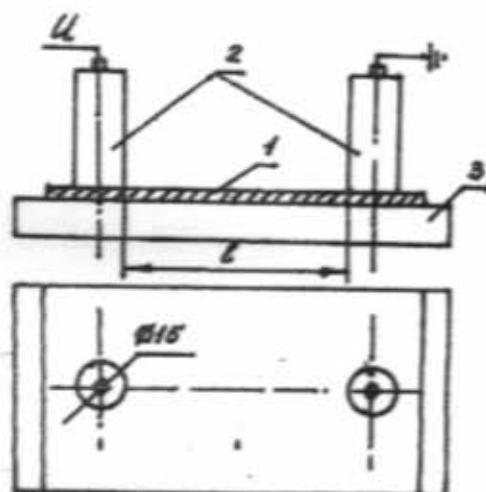


Рис. 1. Схема исследуемой системы

1 - диэлектрическая пленка, 2 - электроды,
3 - диэлектрическая подставка

Испытанию подвергались широко применяемые в высоковольтной электронизолирующей технике полимерные диэлектрические пленки, имеющие толщину 0,1 мм: неполярная - из полиэтилена высокого давления (ПЭВД, $\epsilon=2,3$, $\rho=10^{13}\cdot 10^{15}$ Ом·м), квазиполярная - из поликарбоната (ПК, $\epsilon=2,9$, $\rho=10^{14}\cdot 10^{15}$ Ом·м) и полярная - из полиэтилентерефталата (лавсан, $\epsilon=3,5$, $\rho=10^{13}\cdot 10^{16}$ Ом·м). Последняя, как известно, является сильным электретом [3].

До приведения пленок в электретное состояние определялась зависимость значения разрядных напряжений (U_p) между электродами вдоль поверхности пленок от межэлектродного расстояния (l). Эксперименты проводились при переменном напряжении с частотой 50 Гц. Перед испытанием поверхности образцов тщательно обрабатывались спиртом и продувались воздухом. Значение разрядного напряжения для каждого расстояния определялось как среднearифметическое от пяти измерений. Выяснилось, что в пределах разброса измерений разрядные напряжения вдоль поверхности при одинаковых расстояниях

для ПЭВД и ПК совпадают. Наблюдается незначительное снижение U_p в случае пленки из лавсана, что объясняется сравнительно высокой поверхностной смкостью образцов из-за больших значений диэлектрической проницаемости последних. Характеристики $U_p=f(l)$ для пленок до приведения их в электретное состояние показаны на рис.2.

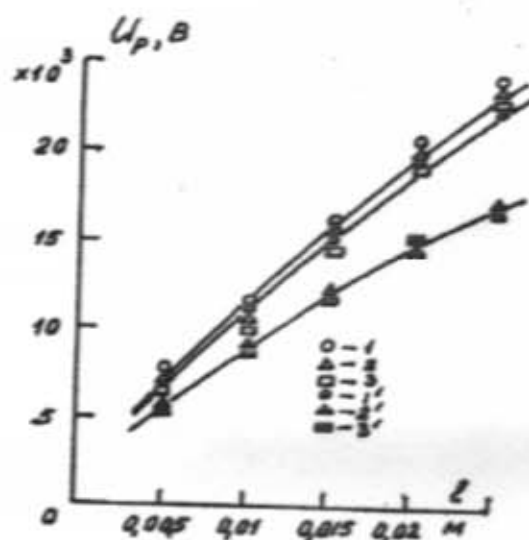


Рис. 2. Температурные зависимости коэффициента Холла образцов селенида галлия до и после облучения различными флюенсами электронов с энергией 6 МэВ.

Для приведения исследуемых образцов в электретное состояние на электроды подавалось в течение одного часа постоянное напряжение $U=(0,8-0,9) U_p$. Отметим, что электретное состояние возникает и при переменном напряжении. Однако, в этом случае заряды, как в объеме, так и на поверхности диэлектрика накапливаются в течение длительного времени.

После снятия постоянного напряжения на систему подавалось переменное напряжение с увеличением его от нуля до пробойного значения. Для всех испытываемых образцов наблюдалось снижение U_p после их электретирования (рис.2). Как видно из зависимостей, для пленок из ПЭВД предварительное воздействие постоянного поля незначительно снижает U_p , а в случае ПК и лавсана это снижение составляет 20-25%.

Как известно, появление электретного состояния в диэлектриках, в частности в полимерах, связано с дипольной и миграционной поляризацией и инжекцией (или осаждением) зарядов из электродов или объема газа. В результате суперпозиции зарядов формируется эффективный поверхностный заряд электрета [3,4].

Для проявления электретных зарядов, образующихся на поверхности испытуемых образцов, применялись электрографические смолы, представляющие собой специальные пигментные порошки [5]. Проявление зарядов осуществляется вследствие скапливания на заряженных участках соответствующего знака цветных пигментных частиц. Результаты электрографии показали наличие на поверхности пленок отрицательного заряда в области, прилегающей к аноду и положительного - к катоду. Если на поверхности образцов из ПЭВД видны нерегулярные следы соответствующих зарядов, тогда на поверхности образцов из

ПК и лавсана заряды имеют более выраженную регулярную структуру в виде четко разделенных поясов, симметричных относительно центра межэлектродного расстояния. На рис. 3 даются стилизованные картины распределения электретных зарядов - гетерозарядов, составленные на основе электрографии поверхности пленок из ПЭВД (а) и лавсана (б).

Измерения, основанные на методе "индукции с компенсацией электретной разности потенциалов" [6], показали, что после электретирования в течение одного часа максимальная плотность заряда в приэлектродных зонах поверхности лавсана составляет в среднем $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ Кл/м², ПК - $\pm 1,2 \cdot 10^{-5}$ Кл/м². В случае образцов из ПЭВД плотность зарядов обоих знаков оказалась ниже 10^{-6} Кл/м². Примерный график распределения зарядов, полученный на основе электрографии и измерения максимальных значений плотности зарядов σ_{max} , показан на рис.3,б.

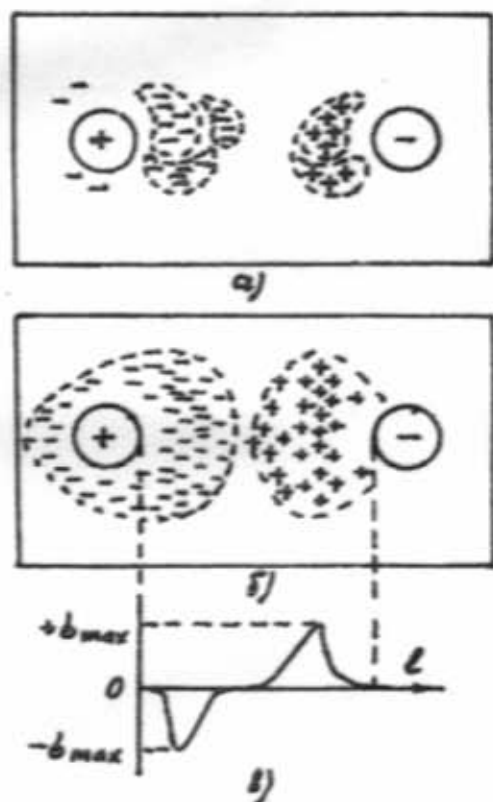


Рис. 3. Температурные зависимости подвижности основных носителей тока образцов селенида галлия до и после облучения различными флюенсами гамма-квантов.

Эффект снижения разрядного вдоль поверхности предварительно электретированных диэлектриков может быть объяснен следующим образом. В процессе развития разряда отрицательно заряженный участок поверхности диэлектрика уменьшает вероятность рассеивания эффективных электронов из прианодной зоны ионизации. А положительно заряженный участок у катода уменьшает вероятность рассеивания положительных ионов из прикатодной зоны ионизации. В результате этого эффективно формируется облако электронов и положительных ионов, стремящихся к аноду и катоду соответственно. При

изменении полярности приложенного к электродам синусоидально изменяющегося напряжения и совпадении направлений приложенного поля и поля облака пространственных зарядов происходит усиление результирующего поля, что способствует развитию разряда вдоль поверхности электретированного диэлектрика при относительно низких напряжениях.

С целью определения влияния одноименных зарядов, накопившихся в объеме и на поверхности диэлектрика на разрядное напряжение вдоль поверхности, исследуемые образцы были приведены в электретное состояние воздействием коронного разряда. Для этого исследуемые пленки устанавливались на поверхности плоского электрода и на расстоянии 5-6 мм от пленок помещались четыре остроконечных электрода. При постоянном напряжении, превышающем пороговое значение, вокруг игольчатых электродов зажигалась корона, ток которой контролировался осциллографом. Электрография показала равномерное распределение зарядов соответствующих знаков на поверхности образцов в зоне действия короны: в случае отрицательной короны - отрицательных, положительной короны - положительных.

После выдержки образцов в зоне воздействия коронного разряда в течение одного часа в области за-

ряженной части на поверхности образцов устанавливались электроды, как это показано на рис.1 и определялись значения напряжения разряда вдоль поверхности. Выяснилось, что при зарядке поверхности твердых диэлектриков одноименными зарядами независимо от знака зарядов, разрядное напряжение вдоль их поверхности не снижается. Это можно объяснить отсутствием вышеназванного эффекта уменьшения вероятности рассеивания заряженных частиц у одного из электродов в каждом полупериоде приложенного напряжения. При больших межэлектродных расстояниях наблюдается определенное повышение U_0 по сравнению с U_1 вдоль поверхности образцов с незаряженными поверхностями, что может быть объяснено выравниванием поля вблизи острых краев электродов поверхностными зарядами.

Выводы.

1. Поле ориентированных диполей и мигрирующих ионов, возникающих в результате электретирования полярных диэлектриков, способствует эффективному развитию разряда вдоль поверхности диэлектрика.

2. При зарядке поверхности одноименными зарядами их влияние на разрядное напряжение отсутствует.

[1] *Е.С. Калечицкий, А.А. Панов, В.В. Акимов.* Электротехника, 1988, №3, с.35-37.
 [2] *И.М. Бортняк, В.М. Вариводов, О.И. Кондратов, Е.К. Вальнов.* Электротехника, 1989, №2, с.21-25.
 [3] *Электреты.* Под ред. Г. Сосслера, М., Мир, 1983, с.486
 [4] *Г.А. Луцкевич.* Полимерные электреты. М., Химия, 1984, с.183.

[5] *А.В. Иванов.* Применение электрографии для исследования объемных и поверхностных зарядов. Автореферат диссертации к.т.н. М., МЭИ, 1971, с.28.
 [6] *А.И. Мамедов, М.А. Курбанов и др.* Электретный эффект в композиционных системах полимер-сегнетоэлектрик. Баку, ИФАН Азерб., 1987, с.69.

T.I. Şahtakhtinski

ELEKTRET HALINDA OLAN BƏRK DİELEKTRİKLƏRİN SƏTHİ BOYU HAVADA ELEKTRİK BOŞALMASI

Elektret halında olan polimer dielektriklərin səthi boyu hava mühitində elektrik boşalma hadisəsinin tədqiqinə əsaslanaraq göstərilir ki, istiqamətlənmiş dipollar və miqrasiya ionlarının yaratdığı elektrik sahəsi elektrodlarla eyni işarəyə malik yüklü hissəciklərin bu sahədə yaranmasına şərait yaradır.

Yaranmış həcmi yüklərin sahəsi öz növbəsində dielektriklərin səthi boyu elektrodlar arası fəzədə boşalmanın yayılmasına şərait yaradaraq bu aralığın elektrik möhkəmliyini aşağı salır.

T.I. Shahtakhtinski

THE ELECTRIC DISCHARGE ALONG THE SURFACE OF SOLID DIELECTRICS BEING IN ELECTRET STATE IN AIR

The article is devoted to investigation of the of electret state influence of polymer dielectrics, films on electric discharge along its surface. It is shown, that field of heterodischarges overlapping sinusoidal electric field between electrodes triging electric discharge at less values of effected voltage.

It is established, that the surface charging of solid dielectrics by same charges doesn't influential on the discharge voltage value along its surface.

Редактор: М.Г. Шахтахтинский