УДК 621.793.09

Поляризация ПВДФ-пленки в тлеющем разряде при повышенном напряжении

Ульянов Данила Юрьевич(*) u-danila@mail.ru
Басов Богдан Алексеевич basovba@bmstu.ru
Моисеев Константин Михайлович k.moiseev@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. *Работа посвящена разработке технологии поляризации пленок поливинилиденфторида с использованием плазмы тлеющего разряда. Приведены ключевые преимущества и актуальность использования ПВДФ как основу для гибких сегнетоэлектрических пленок. Описан эксперимент по плазменной поляризации ПВДФ пленки. Проведено исследование полученных в ходе эксперимента результатов. Выявлены зависимости значения пьезокоэффициента* d_{33} *от времени поляризации при заданных параметрах эксперимента. Обозначено влияние плотности тока на равномерность поляризации и на значение получаемого пьезокоэффициента* d_{33}. *Продемонстрировано преимущество метода плазменной поляризации в сравнении с другими методами поляризации.*

***Ключевые слова*:** *ПВДФ, плазменная поляризация, плазма тлеющего разряда, сегнетоэлектричество, пьезокоэффициент*

Polarization of PVDF film in glow discharge at high voltage

Danila Ulianov Yurievich(*) u-danila@mail.ru
Bogdan Basov Alexeyevich basovba@bmstu.ru
Moiseev Konstantin Mikhailovich k.moiseev@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Absrtact. The work is devoted to glow discharge plasma polarization of PVDF film technology development. The key advantages and relevance of using polyvinylidene fluoride as a basis for flexible ferroelectric films are shown. An experiment on plasma polarization of PVDF film is described. A study of the results obtained during the experiment was carried out. The dependences of the value of the piezoelectric effect d_{33} on the polarization time for the specified experimental parameters are revealed. The influence of the current density on the uniformity of polarization and the purpose of the resulting piezoelectric effect d_{33} is indicated. The advantage of the plasma polarization method in comparison with other polarization methods is demonstrated.

Keywords: PVDF, plasma polarization, glow discharge plasma, ferroelectricity, piezomodule

Введение. Гибкие сегнетоэлектрические пленки на основе поливинилиденфторида (ПВДФ) являются перспективными материалами для исполь-

зования в телемедицине, безопасности, акустике, фотоприемниках, генерации и хранении электроэнергии и др. [1–3].

Данный полимер обладает рядом преимуществ, таких как прозрачность, гибкость, биосовместимость и высокие пьезоотклики среди других полимеров. Электрические свойства пленки определяются ее структурой, и ориентацией диполей, которые зависят от методов обработки полимера в процессе производства. Высокие пьезоэлектрические характеристики ПВДФ достигаются за счет операции поляризации, заключающейся в ориентации диполей пленки в направлении приложенного электрического поля напряженностью более 100 МВ/м [4].

На данный момент широко применяются изученные методы поляризации пленок на основе ПВДФ: контактная поляризация и поляризация в коронном разряде. Метод плазменной поляризации в отличие от классических способов поляризации обладает меньшей длительностью процесса при высокой однородности электрического поля без дополнительного нагрева образца в вакуумной среде.

Целью работы является исследование влияния плотности тока и времени обработки в тлеющем разряда на степень поляризованности ПВДФ пленки.

Материалы и методы. Процесс поляризации ПВДФ пленки в плазме тлеющего разряда проводится на стенде плазменной поляризации, сконструированном на базе установки МРС [5]. Образцы ориентированной пленки ПВДФ толщиной 25 мкм закрепляются на нижнем электроде (аноде) за углы с помощью вакуумного скотча (рис. 1). Натяжение и контакт образца с анодом контролируются.

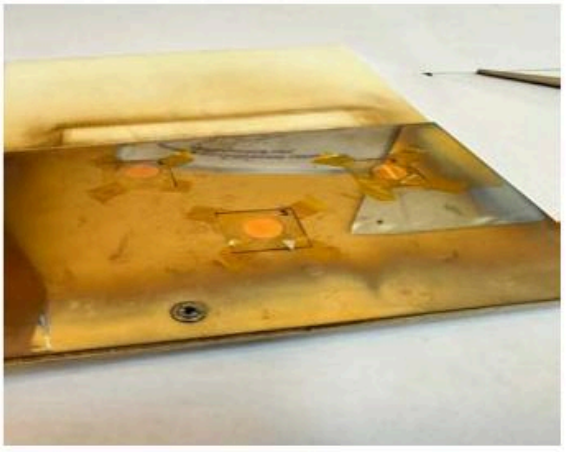


Рис. 1. Образцы ПВДФ пленки, закрепленные на аноде

Образцы поляризуются в плазме тлеющего разряда постоянного тока при давлении 3 Па. Отрицательные ионы кислорода и электроны, сгенерированные в плазме тлеющего разряда, взаимодействуя с поверхностью поляризуемой пленки, образуют виртуальный электрод, порождающий электрическое поле напряженностью более 100 МВ/м, поляризующее ПВДФ пленку. По истечении времени процесса поляризации, согласно плану эксперимента, при-

веденного в табл. 1, камера разгерметизируется и образцы изымаются из вакуумной камеры и заменяются новыми образцами для следующего процесса. После обработки стороны № 1 поляризованных образцов также металлизируются.

План эксперимента по поляризации ПВДФ пленки в плазме тлеющего разряда

Плотность тока, мкА/см^2	Расстояние между электродами, мм	Давление, Па	Напряжение, кВ	Время, мин
35	20	1,5	5,5	2 3 4 5
25			5,5	5 7 8 9

Измерение пьезоэлектрических характеристик образцов производится квазистатическим методом Берлинкура на измерительном приборе YE2730A (Sinocera Piezotronics, Китай), изображение которого приведено на рис. 2.



Рис. 2. d_{33}-метр Sinocera YE2730A

Данный прибор воздействует на измеряемый образец калиброванной нагрузкой 0,25 Н с частотой 110 Гц. Измерения проводятся с каждой стороны

образцов в 12 точках их металлизированных областей, после чего вычисляется среднее значение пьезокоэффициента d_{33} и его доверительный интервал.

Результаты. На основе результатов эксперимента построены зависимости пьезокоэффициента d_{33} образцов ПВДФ пленки от времени поляризации и плотности тока тлеющего разряда (рис.3).

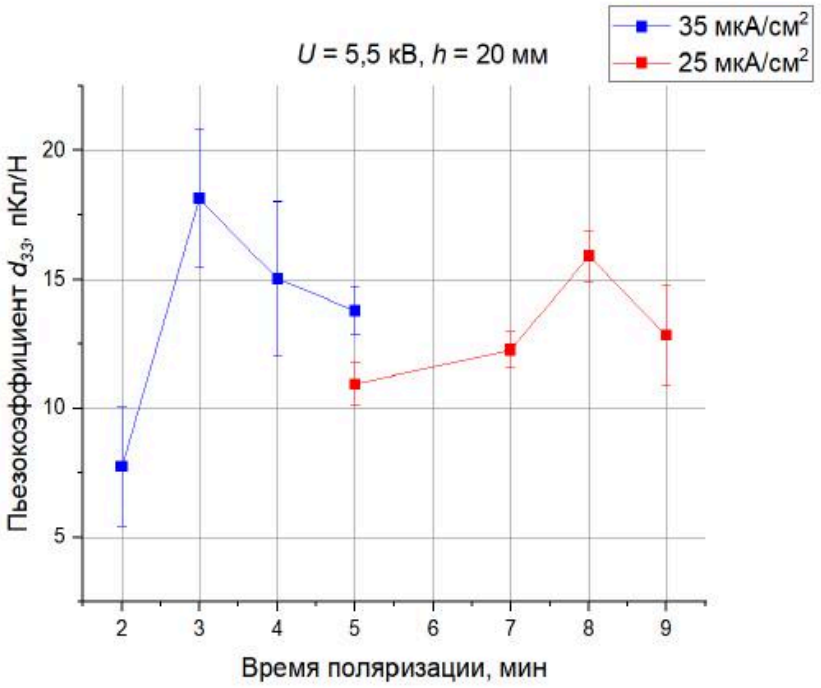


Рис. 3. Зависимость значения пьезокоэффициента d_{33} от времени поляризации при заданных параметрах

Обсуждение полученных результатов. На основе полученных зависимостей можно сделать вывод о том, что значение пьезокоэффициента возможно повысить путем увеличения напряжения разряда и плотности тока. Максимальное значение пьезокоэффициента d_{33} — 18,1 ± 2,7 пКл/Н достигается за 3 минуты поляризации при плотности тока 35 мкА/см^2.

Также заметно, что при меньшей плотности тока 25 мкА/см^2, максимальное значение пьезокоэффициента d_{33} — 15,9 ± 1,0 пКл/Н достигается за большее время — 8 минут. При этом большая равномерность поляризации достигается при меньшей плотности тока — 25 мкА/см^2, так как величина доверительного интервала у образцов, поляризованных при данной плотности тока меньше, чем у образцов пленки, обработанных при плотности тока 35 мкА/см^2.

Заключение. В рамках эксперимента максимальное значение d_{33} составило 18,1 ± 2,7 пКл/Н при плотности тока 35 мкА/см^2 за 3 минуты.

Плотность тока при постоянном значении напряжения разряда влияет на значение d_{33} и на равномерность поляризации пленки.

Продемонстрировано преимущество метода поляризации ПВДФ пленки в плазме тлеющего разряда в повышенной производительности в сравнении с другими методами поляризации — в случае плазменной поляризации дли-

тельность процесса обработки составляет 3 минуты, для контактной поляризации с нагревом — 50 минут.

Список источников

[1] Кочервинский В.В. *Применение сегнетоэлектрических полимеров в технике и медицине*. Москва, Palmarium Academic Publishing, 2021.

[2] Кочервинский В.В. Свойства и применение фторсодержащих полимерных пленок с пьезо- и пироактивностью. *Успехи химии*, 1994, т. 63, вып. 4, с. 383–388. https://doi.org/10.1070/RC1994v063n04ABEH000090

[3] Александров С.Е., Гаврилов Г.А. и др. Сегнетоэлектрики-релаксоры как материалы для ИК фотоприемников. *Журнал технической физики*, 2004, № 9, с. 72–76.

[4] Сергеева А.Е. *Поляризация и пространственный заряд в сегнетоэлектрических полимерах*. Одесса, ОНТУ, 2014.

[5] Басов Б.А., Моисеев К.М. *Разработка системы электродов для поляризации ПВДФ пленок в малогабаритной плазменной установке*. Казань, КНИТУ, 2023.