



ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В ПЛЕНКАХ P(VDF-TrFE), СФОРМИРОВАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



Н.В. Востров¹, А.В. Солнышкин¹, А.А. Солопаев¹, Е.В. Александров¹, А.Н. Белов²

¹Тверской государственный университет, Тверь

²Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Зеленоград

Тверской
государственный
университет

ВВЕДЕНИЕ

Поливинилденфторид (PVDF) и его статистический сополимер с трифторэтиленом P(VDF-TrFE) обладают полукристаллической структурой и относятся к электроактивным диэлектрикам. PVDF не испытывает переход из сегнетоэлектрической фазы в параэлектрическую вплоть до точки плавления, тогда в его сополимере P(VDF-TrFE) наблюдается фазовый переход, причем с увеличением содержания трифторэтилена температура уменьшается. В настоящей работе на основе данных диэлектрических измерений рассмотрены особенности фазового перехода в пленках P(VDF-TrFE), сформированных методом 4D-печати.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Образцы полимерных пленок P(VDF-TrFE) 72/28 были изготовлены с помощью технологии 4D-печати на основе 3D-принтеров с кинематикой послойного наплавления раствора (рис.1). Раствор для метода MSD, получали из смеси гранулята и диметилсульфоксида с ацетоном, содержащей 20 % ацетона, который перемешивали в течение 1 часа при температуре 100 °С до полного растворения гранул. Полученный раствор пропускался через 0,5 микронный фильтр для устранения возможных механических примесей и печатался на кварцевое стекло (алюминиевую пластину) в специальной кювете. С помощью метода поляризации полем коронного разряда часть образцов была поляризована.

На противоположные поверхности как поляризованных, так и неполяризованных пленок методом вакуумного испарения наносились алюминиевые электроды. Исследования диэлектрических характеристик проводились с помощью измерителя иммитанса E7-30 при приложении к образцам измерительного напряжения 1 В, изменяющего с частотой от 25 до $3 \cdot 10^6$ Гц.

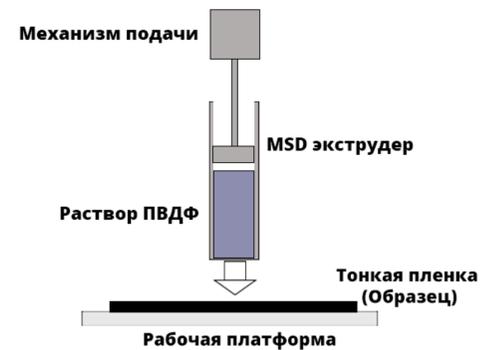


Рис 1. Блок-схема 3D-принтера, работающего по технологии послойного наплавления раствора (MSD)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

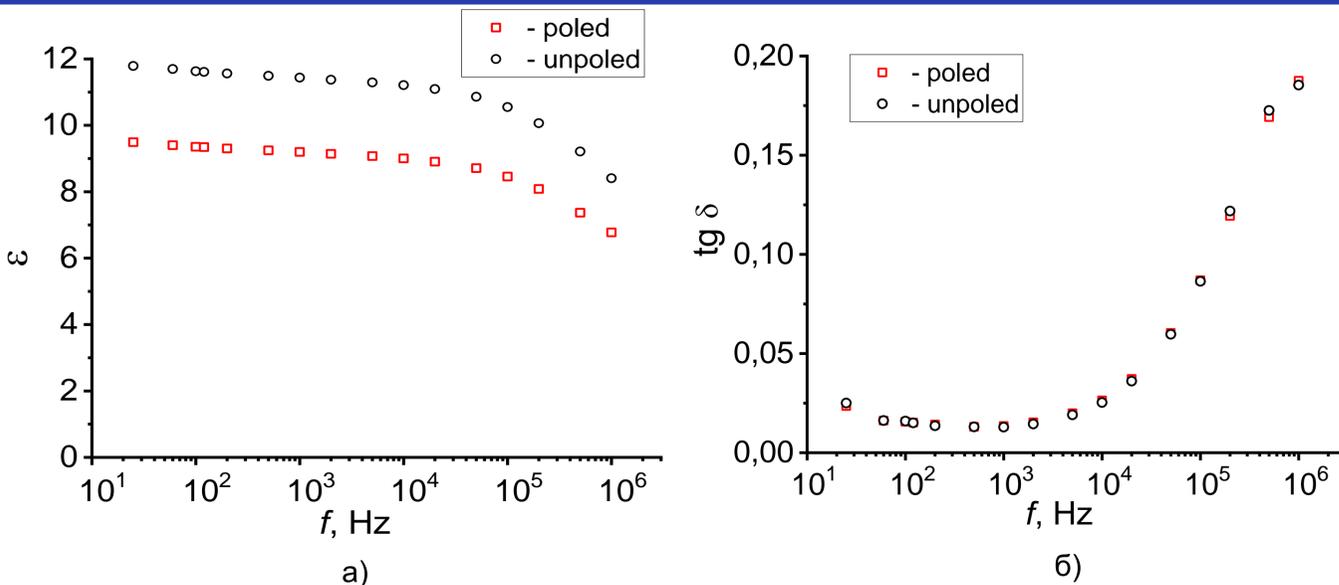


Рис. 3. Частотные зависимости диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) для пленок P(VDF-TrFE), полученных методом 4D-печати. Символами \circ обозначены частотные зависимости для неполяризованных пленок, символами \square – поляризованных.

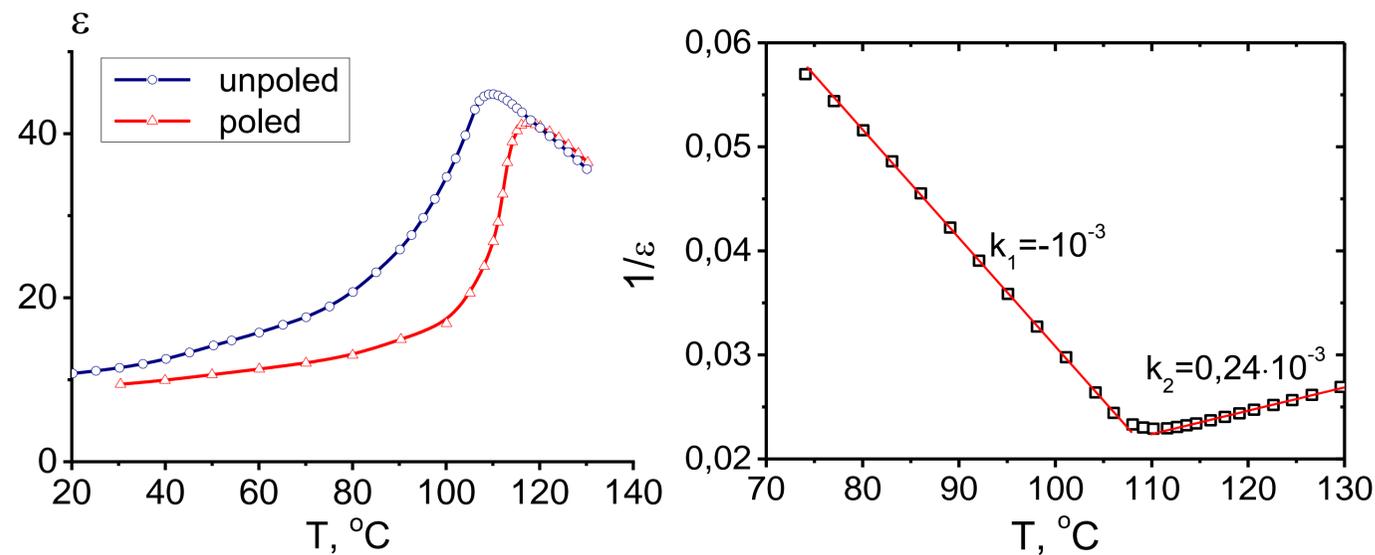


Рис. 4. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости для неполяризованной (верхняя кривая) и поляризованной (нижняя кривая) пленок P(VDF-TrFE). Частота измерительного поля равна 1 кГц.

Рис. 5. Температурная зависимость величины обратной диэлектрической проницаемости неполяризованной пленки сополимера P(VDF-TrFE). Частота измерительного поля равна 10^3 Гц.

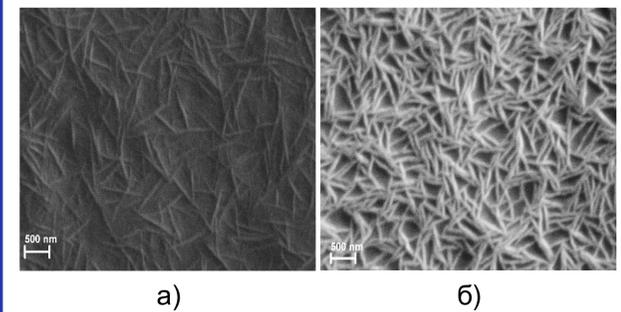


Рис. 2. СЭМ изображения свободной поверхности пленок P(VDF-TrFE): а – неполяризованных, б – поляризованных.

ВЫВОДЫ

1) Показано, что исходные пленки PVDF и P(VDF-TrFE), не подвергавшиеся ориентационной вытяжке и действию внешних электрических полей, характеризуются наличием как неполярной α -фазы, так и полярной β -фазы, которая представлена кристаллическими образованиями стержневидной формы.

2) Установлено, что воздействие постоянных полярирующих электрических полей, превышающих коэрцитивное, понижает величину диэлектрической проницаемости на 20–25 %, при этом величина тангенса угла диэлектрических потерь остается неизменной во всем частотном диапазоне.

3) Важной отличительной чертой температурного поведения диэлектрической проницаемости поляризованных образцов является смещение максимума диэлектрической проницаемости в высокотемпературную область приблизительно на 10°C . Это характерно для сегнетоэлектриков при наличии существенных смещающих электрических полей, которые в данном случае формируются в процессе поляризации пленочных образцов сополимера.