

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

**«АНТИДИНАТРОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИ-
ТОВ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ»**

Выполнила студентка 4 курса

423 группы:

Пешнина Дария Олеговна

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., с.н.с. Шемухин Андрей Александрович

Москва

2020

Введение

Обеспечение надежной эксплуатации космических аппаратов в космосе сопряжено с решением целого комплекса научно-технических вопросов, связанных с особенностями внешней обстановки в открытом космосе. Воздействие ионизирующих излучений (гамма-кванты, тепловые и быстрые нейтроны, электроны и протоны космических излучений) на электротехнические материалы сопровождается деградацией их физико-химических и электрофизических характеристик. Повреждающий эффект определяется энергией, поглощаемой облучаемым материалом (в расчете на единицу массы), т. е. поглощенной дозой.

Применение полимерных материалов, созданных с помощью 3D-печати, набирает все большую популярность в аэрокосмической отрасли. Преимущества 3D-печати заключаются в возможности создания форм, недоступных для производственного исполнения, математическом моделировании заданных характеристик. Наиболее интересным материалом для изучения являются полимеры. Они дают возможность создавать твердые трехмерные объекты, обладающие различными физико-математическими свойствами, а также обеспечивают простоту внедрения добавок.

Но воздействие ионизирующих излучений в космосе на полимерные диэлектрики приводит к образованию заряженных частиц в объеме материала. В результате концентрация носителей заряда в облучаемом полимере резко возрастает, что приводит к появлению радиационной электропроводности. Для уменьшения этого эффекта могут быть использованы специальные антидина-электронные покрытия. В качестве такого покрытия хорошо подходят обладающие низкими коэффициентами вторичной электронной эмиссии углеродные плёнки.

Постановка задачи:

Данная работа направлена на изучение возможности использования полимера с УНТ в качестве антидинаatronного покрытия. Для этого, методом пиролитического осаждения были выращены УНТ и замешаны в полимер. В работе изучаются зарядовые характеристики полимерных композитов с УНТ.

Радиационная электропроводность полимеров

Для прогнозирования обратимых изменений электрофизических свойств полимерных диэлектриков в полях ионизирующих излучений используется модель Роуза – Фаулера – Вайсберга (РФВ) фото- и радиационной проводимости полимеров. Система уравнений классической модели РФВ имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dN(t)}{dt} = g_0 - k_r N_0(t) N(t) \\ \frac{\partial \rho(E, t)}{\partial t} = k_c N_0(t) \left[\frac{M_0}{E_1} \exp\left(-\frac{E}{E_1}\right) - \rho(E, t) \right] - \nu_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \rho(E, t), \\ N(t) = N_0(t) + \int_0^{\infty} \rho(E, t) dE \end{cases} \quad (1)$$

где $N(t)$ – полная концентрация основных носителей заряда (электронов); g_0 – скорость объемной генерации носителей заряда; k_r – коэффициент объемной рекомбинации квазисвободных электронов с неподвижными дырками, выступающими в качестве центров рекомбинации; k_c – константа скорости захвата квазисвободных электронов на ловушки; M_0 – суммарная концентрация исходных ловушек, экспоненциально распределенных по энергии ($E > 0$ и отсчитывается вниз от дна зоны переноса); $\rho(E, t)$ – энергетическая плотность распределения захваченных электронов; ν_0 – эффективный частотный фактор термического освобождения захваченных электронов из ловушек; E_1 – параметр экспоненциального распределения ловушек по энергии.

Согласно модели РФВ ионизирующее излучение создает пары свободных зарядов (т. е. зарядов, движущихся под действием только внешнего

электрического поля), из которых подвижными являются только электроны. Образовавшиеся дырки не принимают участия в переносе электрического тока и служат центрами рекомбинации. Первоначально электроны возникают в подвижном состоянии с микроскопической подвижностью μ_0 , но их движение происходит в присутствии многочисленных ловушек, глубина которых распределена в широком энергетическом интервале по экспоненциальному закону.

Движение электронов (диффузия и дрейф) в объеме полимера происходит в результате последовательных актов захвата на ловушки и термического освобождения с них

Отсутствие пространственной зависимости в модели отражает тот факт, что рассматриваемое явление относится к неограниченной среде, в которой существует постоянное и однородное электрическое поле, причем само облучение однородно по объему, постоянно по интенсивности и не сопровождается ослаблением излучения по глубине полимера (объемные заряды, искажающие приложенное электрическое поле, отсутствуют). Образец полимера как во время облучения, так и после его окончания остается электрически нейтральным.

Облучение полимеров приводит к образованию в них свободных радикалов, являющихся глубокими ловушками как для электронов, так и для дырок. В первом приближении можно принять, что накопление радикалов пропорционально дозе излучения, термическое освобождение захваченных ими электронов отсутствует, а константа скорости захвата по-прежнему равна k_c . С учетом генерации свободных радикалов (радиационных ловушек) система уравнений (1) модифицируется. Появляется дополнительное уравнение:

$$\frac{dN_t(t)}{dt} = k_c N_0(t) (g_t t - N_t), \quad (3)$$

и в правую часть последнего уравнения системы (1) добавляется слагаемое $Nt(t)$. Можно принять, что скорость генерации радиационных ловушек gt пропорциональна g_0 и их отношение $\lambda=gt/g_0$, как правило, не больше единицы.

Углеродные нанотрубки (УНТ)

Углеродная нанотрубка — это аллотропная модификация углерода, представляющая собой полую цилиндрическую структуру. Многослойные УНТ состоят из нескольких слоев свернутых графеновых листов, вложенных друг в друга.

Важной особенностью УНТ является их высокое аспектное отношение. К тому же, свернутые в цилиндр атомные слои являются более механически устойчивыми, по сравнению с кристаллом графита. Таким образом, данный материал очень перспективен для автоэмиссионных приложений. В литературе было продемонстрировано, что однослойные и многослойные УНТ демонстрируют автоэмиссионный ток в условиях высокого вакуума при комнатной температуре. В исследованиях было показано, что катоды на основе УНТ обладают низкими пороговыми полями эмиссии порядка 1 В/мкм при плотности тока 0,1 мА/см², что превосходит параметры автоэмиссионных катодов, полученных из других материалов.

Ионное облучение УНТ

Ионное облучение — очень важная методика для модификации свойств, поскольку весь процесс полностью контролируется, или для имплантации различных примесей в кристаллическую решетку материала. Известно, что УНТ являются перспективным материалом для создания композитов, в частности в качестве арматуры для различных полимеров, функционализированные нанотрубки способны гораздо прочнее связываться с композитным материалом, что сделает его гораздо прочнее.

Помимо улучшения механических свойств и электропроводности, УНТ обладают малым коэффициентом вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ). Под действием динаatronного эффекта в вакуумных электроприборах может возникнуть нежелательный ток вторичной электронной эмиссии. Для уменьшения этого эффекта используются специальные антидинаatronные покрытия. В качестве такого покрытия хорошо подходят обладающие низкими коэффициентами ВЭЭ углеродные плёнки. Использование полимерных композитов с УНТ в электронных спектрометрах позволит убрать вторичную электронную эмиссию из обкладок спектрометра и как следствие улучшится соотношение полезного сигнала к фону таких оборудований.

Ионное облучение полимерных композитов с УНТ

При облучении с энергией 5 кэВ, полимер без углеродных нанотрубок быстро заряжается, даже при сравнительно небольших плотностях тока. При этом, как следует из закона сохранения заряда, ток вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ) быстро достигает значения $I_{\sigma} = I_0 - I_{L+D} \approx 100$ пА, что является обычным в процессе зарядки диэлектриков случаем. И, следовательно, результирующий коэффициент ВЭЭ $\sigma \approx 1$, а это приводит к сильно выраженному динаatronному эффекту.

При добавлении УНТ к полимеру зарядки не происходит: спектр вторичных электронов ведет себя аналогичным образом как на металлических образцах – смещения спектра нет. При этом регистрируется близкий к 90% от тока падающего пучка ток с подложки I_{L+D} . Оставшаяся часть электронов – отраженные электроны и вторичные электроны.

Заключение:

В результате выполнения работы было исследовано, как замешивание углеродных нанотрубок в полимер влияет на динаatronные свойства таких композитов.

Список используемых источников:

1. Marcin Krajewski, Pei-Yu Liao, Monika Michalska, Mateusz Tokarczyk, Jeng-Yu Lin, Hybrid electrode composed of multiwall carbon nanotubes decorated with magnetite nanoparticles for aqueous supercapacitors/ *Journal of Energy Storage* (2019)
2. Stansbury, M.J. Idacavage, 3D printing with polymers: challenges among expanding options and opportunities/ *Dent. Mater.* 32 (1) (2016)
3. McCarthy B, Coleman JN, Curran SA, Dalton AB, Davey AP, Konya Z, et al. Observation of site selective binding in a polymer nanotube composite. *J Mater Sci Lett.* 2000;19(24):2239–41
4. Городецкий Д.В., Микроструктурированные массивы углеродных нанотрубок для автоэмиссионных катодов
5. И.П. Безродных, А.П. Тютнев, В.Т. Семёнов, Радиационные эффекты в космосе. Часть 2. Воздействие космической радиации на электротехнические материалы (2013)
6. А. В. Архипов, Н. М. Гнучев, С.И. Крель «Роль наночастиц в полевой эмиссии электронов из углеродных материалов»/ *Физическая электроника*