

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СВЧ-ТЕХНИКИ

Крахин О.И., Прокофьев М.В.
Московский авиационный институт (ГТУ)

Проведены измерения свойств поглощения и отражения радиоизлучений сантиметрового диапазона графитовыми покрытиями на органических пленках. Покрытия получены из поливочных спиртовых растворов коллоидного графита по лакокрасочной технологии с термообработкой. Выявлены основные закономерности влияния технологии получения коллоидных графитовых препаратов и способов полива на радиофизические свойства образующихся пленочных покрытий.

Рассмотрены вопросы изготовления покрытия для защиты от излучений, повышения контрастности изображения и снятия электростатического заряда. внесены предложения и рекомендации по применению тонкопленочных покрытий и порошков на основе квазикристаллов углерода в существующих и разрабатываемых образцах электронной техники;

В настоящее время активно ведутся исследования комплексных покрытий из резистивных и наноразмерных материалов, полученных путем осаждения или напыления аморфных, квазикристаллических, кристаллических наноразмерных порошков обладающих амплитудно-фазовой и поляризационной активностью по отношению к электромагнитным излучениям широкого спектра. Разработки в области создания нанокристаллических материалов наиболее широко проводятся в США по контрактам, финансируемым преимущественно Министерством обороны, а также ведущими авиационно-космическими фирмами. Фирмы, специализирующиеся на разработке средств локации и маскировки, предлагают наномолекулярные (нанотрубки, бакиболы) углеродные магнитные или резистивные материалы, а также композиционные системы из этих материалов. Наиболее близкими аналогами к разрабатываемым нами техническим средствам являются высокодисперсные углеродные наноматериалы. Эти материалы могут быть использованы для создания покрытий и объемных композиционных структур различного функционального назначения, для улучшения конструктивных особенностей СВЧ техники, снижения массогабаритных характеристик электронных устройств. Это направления, где требуются новые функциональные материалы.

Одним из эффективных решений этой проблемы может быть нанесение покрытий из химически активированного графита (ХАГ) на соответствующие поверхности. В сравнении с другими углеродными покрытиями, покрытия ХАГ имеют высокую адгезионную прочность (в 1,5...3 раза) и высокую электропроводность (в 2...10 раз). ХАГ - углеродный материал с размерами частиц нанометрового диапазона и высокой удельной поверхностью (1800...2000 м²/г).

Сочетание методов механической и химической активации обеспечивает возможность изготовления устойчивых при хранении (до года) водных, спиртовых и смешанных систем, содержащих активный графит. Фактически устойчивость ХАГ в растворителях позволяет говорить об образовании коллоидных растворов или гигантских аквакомплексов (сольватоккомплексов) углерода с водой (или другими растворителями).

Технология получения графитовых покрытий из суспензий включает три основных стадии: приготовление исходного порошка - приготовление графитовой суспензии - приготовление графитового покрытия. Приготовление исходного порошка включает механическое измельчение с использованием вибрационной мельницы. Приготовление графитовой суспензии включает операции активации, отмывки, пептизации - дезагрегации, сепарации (отстаивания или центрифугирования). Приготовление покрытия включает подготовку подложки (очистку или активацию), нанесение суспензии, сушку, отжиг.

Для изучения влияния способа нанесения покрытий КГП на электрофизические и структурные свойства покрытий были изготовлены и исследованы покрытия, отличающиеся друг от друга по составу подложки при практически одинаковых остальных параметрах.

В результате установлено, что технологические приемы изготовления покрытий из коллоидных графитовых препаратов позволяют получить материалы с заданными радиофизическими свойствами. Проведенные исследования показывают, что на всех стадиях формирования покрытий и при любых технологических операциях могут быть достигнуты существенные улучшения параметров пленочных материалов по какому-либо из свойств: поглощения, отражения, пропускания СВЧ излучений.

Были проведены исследования устойчивости покрытий к многоцикловым испытаниям в условиях изгибной деформации на специальной установке. Разработка принципиальной схемы, конструкция и изготовление установки выполнены с участием студентов старших курсов МАИ.

Испытаниям подвергали образцы покрытий различной толщины на лавсановой подложке. Для увеличения адгезии к лавсановой подложке и устойчивости материалов к усталости применяли модификаторы: добавки в поливочный раствор фруктозы и поливинилбутираля. Кроме того, изменяли параметры термообработки.

Для оценки влияния толщины покрытий на лавсане на усталостные свойства образцы готовили методом окунания в поливочный спиртовой раствор кон-центрации 30 г/л с промежуточной сушкой при температуре 65⁰С в течение 2-х часов. Таким способом последовательно один на другой наносили до 5 слоев.

Эти испытания показали, что сопротивление покрытий возрастает практически одновременно - при числе циклов более 10000, но толстослойные покрытия разрушаются больше, чем тонкослойные. В этих покрытиях трещины и микродефекты распространяются на всю толщину слоя и значительно увеличивают его сопротивление.

Как уже было отмечено выше, пленочные покрытия из активированного графита предоставляют возможность подбора слоев из нескольких пропитанных материалов с заданными свойствами. Исходя из этого была выполнена работа по составлению оптимального композита для обеспечения 50% -ного поглощения падающего излучения. Оптимизацию свойств выполняли с помощью программных средств, предоставляемых программой Microsoft Excel 97.

В результате определен материал, целесообразно использовать в качестве первого поглощающего слоя, так как он обладает наибольшим удельным поглощением. Определено также покрытие, которое можно применить в качестве подложки. Такая подложка, обеспечивая дополнительное поглощение материалом излучения, одновременно часть излучения направит в первичный поглощающий слой.

Важным параметром при создании композиционного материала является толщина пропитанного слоя.

В этом отношении были проанализированы свойства покрытий на бумаге, прессшпане и полиимида. Волокна бумаги влагопроницаемы и проявляют высокую адгезию к растворителю (этиловому спирту), поэтому коллоидный раствор полностью проникает в слой подложки. В бумажном слое наблюдается объемное смачивание и частицы коллоидного графита покрывают гидрат-целлюлозную поверхность волокон. Количество коллоидного графита, вошедшего в подложку, определяли весовым методом. Весовым методом также установлено, что прессшпан не пропитывается. Покрытие на прессшпане формируется только в пористом слое снаружи, так как он обладает повышенной плотностью и не пропускает растворитель в объем. Покрытия на прессшпане характеризуются рыхлой, пористой структурой и имеют толщину 10..50 мкм. На полиимидных пленках в наших условиях покрытие формируется в виде тонкого (6..9 мкм) слоя высокой плотности.

В результате установлено, что свойство отражения излучения зависит преимущественно от плотности покрытия на подложке, в то время как поглощение лучей – от толщины покрытия в объеме. Плотные покрытия по свойствам отражения электромагнитного высокочастотного (11..18 ГГц) излучения приближаются к металлам, а покрытия на бумаге – имеют наилучшие свойства в отношении поглощения излучений. Следует отметить, что прямолинейной зависимости поглощения электромагнитного излучения покрытиями на различных подложках от толщины не наблюдается. Например, бумага и войлок имеют сходное строение, однако при одинаковом весовом наполнении на единицу толщины волокнистого материала подложки, войлок имеет существенно более низкие показатели поглощения. Следовательно, на конечные свойства композиционного покрытия существенное влияние оказывает материал диэлектрической подложки. От толщины, химической природы, соотношения толщины волокон и размеров частиц активированного графита и других свойств волокон пропитываемого материала зависят условия смачивания активированным коллоидным раствором, степень адгезионного взаимодействия частиц и т.д.

Покрытия из КГП можно использовать не только для повышения качества антенн, но и для

экранировки соединительных проводов и кабелей согласования антенных устройств, антенных спусков и др., расположенных вблизи зеркала антенны. Покрытия в этом случае обеспечивают снижение помех от внешних устройств. В настоящих исследованиях выполнена предварительная проверка возможности использования коллоидного графитового препарата для экранировки линии связи между источником и приемником высокочастотного сигнала.

Макетные образцы кабеля для соединения измерителя (приемника) и источника высокочастотного сигнала получены путем замены медной оплетки на двухслойное покрытие из коллоидного графита марки ТО-3 (внутренний) и ТО-6 (наружный слой).

Для проведения исследований был собран стенд, включающий

- 1) измеритель импеданса Е7-8 для определения электрического сопротивления токопроводящего экрана, подключенного по двухзондовой четырехконтактной схеме с внешним экраном;
- 2) измеритель электрического сопротивления изоляции УПУ-10 (Универсальная пробивная установка). Измерения выполнены при комнатных нормальных условиях категории "А" (температуре 20⁰С, относительной влажности 45-65%);
- 3) измеритель амплитуды сигнала по напряжению на внутренней жиле при воздействии на экранированный кабель электромагнитных импульсов от внешнего разрядника. В качестве измерительного устройства использовали осциллограф С1-86, с номинальным сопротивлением на входе не менее 10 МОм;
- 4) генератор сигнала помехи, в качестве которого служили электромагнитные импульсы разрядника при напряженности между электродами 7 кВ. Источником высокого напряжения служила установка УПУ-10. Разрядник располагали внутри витка экранированного кабеля диаметром 200 мм.

Электрическая прочность экран/жила во всех случаях превышала возможный предел измерений с помощью прибора УПУ-10 и была более 10 МВ/м

Проведенные измерения показали, что покрытие обеспечивает надежную защиту сигналов от посторонних наводок и не уступает по указанному показателю стандартному коаксиальному экранированному телевизионному кабелю ВТХ0,2/75. Свойства макетного кабеля практически не изменяются после перегиба с радиусом закругления равным 30 диаметрам кабеля.

Для проверки возможности эксплуатации этих покрытий в условиях внутренних объемов, в которых обычно располагаются согласующие устройства и линии связи было изучено воздействие на образцы кабеля повышенной и пониженной температуры. Измерения при повышенной температуре выполняли в сушильном шкафу СНОЛ 3,5/0,5/125 с блоком терморегулятора при температуре 70⁰С ±5⁰С. Температуру контролировали хромель-копелевой термопарой. Образцы кабеля, свернутые в бухту диаметром более 30 диаметров кабеля в поперечном сечении выдерживали 24 часа;

Воздействие на образцы кабеля пониженной температуры изучали с помощью бытового холодильника «ИНЕЙ» при температуре -10 ±5⁰С. Образцы кабеля, свернутые в бухту диаметром равным не менее 30 диаметров кабеля в поперечном сечении, помещали в камеру замораживателя и выдерживали не менее 24-х часов;

Воздействие влажности на электрическую изоляцию кабеля изучали на установке УПУ-10 после выдержки образцов в течение не менее 2 часов при 35⁰С и относительной влажности 75±3% в эксикаторе над хлоридом кальция шестиводным (номинальная влажность 90%).

Проведенные измерения показали, что покрытие обеспечивает стабильную и надежную экранировку сигналов переменного тока с уровнем 50-100 мВ. Свойства экранирующего покрытия кабеля практически не изменяется после перегиба с радиусом закругления равным 30 диаметрам кабеля.

В рамках комплексных работ по исследованию механизмов взаимодействия электромагнитного поля с диссипативными дисперсными пленочными резистивными средами и получению новых поглощающих материалов были изучены свойства графитовых материалов при облучении мягким рентгеновским излучением. При этом получены интересные практические результаты по улучшению свойств фотоэлектронных умножителей, используемых для регистрации излучений. Измерены свойства датчиков рентгеновского излучения с нанесенными графитовыми покрытиями. Покрытия получены из поливочных спиртовых растворов коллоидного графита по лакокрасочной технологии. Выявлены основные закономерности влияния технологии получения коллоидных графитовых препаратов на радиофизические свойства образующихся пленочных покрытий.

Среди большого разнообразия датчиков рентгеновского излучения в приборостроении и технике непрерывной регистрации излучений большое распространение получили фотоэлектронные

умножители (ФЭУ) различных марок. Отличительными свойствами этих датчиков являются высокая чувствительность к мягкому (0,05...0,5 нм) рентгеновскому излучению, огромный диапазон пропорциональной шкалы интенсивностей, высокий уровень выходного электрического сигнала и сравнительно простая электронная схема присоединения к регистрирующим устройствам. Однако, при регистрации рентгеновского излучения необходимо закрывать чувствительный элемент датчика от светового излучения и от возможного накопления электростатического заряда на поверхности стеклянной колбы умножителя. Для заземления поверхности стеклянной колбы, ФЭУ помещают в металлический кожух, служащий одновременно экраном от попадания света на боковые стенки электронной лампы. Поверхность чувствительного элемента часто остается не заземленной и не полностью изолированной от света, так как металлы сильно задерживают рентгеновское излучение. Металлизация поверхности стеклянной колбы металлическим бериллием не применяется, так как технология этого процесса не разработана.

были проведены испытания стандартных ламп ФЭУ85 с нанесенными на поверхность чувствительной части лампы покрытиями КГП. Покрытия наносили методом окунания в коллоидные дисперсии графита в спирте с концентрацией 40 г/л с последующей сушкой при температуре 55 °С в два слоя с промежуточной сушкой.

После обработки препаратом коллоидного графита стеклянная колба ФЭУ не требует дополнительной электрической изоляции и защиты от светового излучения и может быть помещена вне стандартного кожуха. Кроме того, что практически не снижая общей интенсивности, покрытие из коллоидного графита увеличивает соотношение полезный сигнал / фон