

ционных материалов являются двухслойные полиимидно-фторполимерные (ПМФ) пленки. Такие пленки сочетают в себе превосходную термостойкость (до 400 °С), отличные механические свойства, обладают высокой усталостной и долговременной прочностью, низкой ползучестью. ПМФ-пленка не растворяется в органических растворителях, имеет высокую химическую стойкость к маслам и агрессивным средам, относится к антифрикционным материалам, обладает низким коэффициентом трения и хорошей стойкостью к воздействию абразивных веществ. Пленки из полиимида хорошо металлизуются и обладают превосходной стойкостью к воздействию радиации. В связи с тем, что пленка при небольшой толщине имеет высокую электрическую прочность, представляется возможным использовать ее при производстве и ремонте статоров и роторов электрических машин, фольгированных диэлектриков, печатных плат, кабельно-проводниковой продукции, в качестве самостоятельных электроизоляционных материалов. Одной из существенных проблем при использовании исходных пленок, выпускаемых промышленностью в широком ассортименте, является получение из пленки монолитной изоляции, сохраняющей свойства полиимида. В качестве клеевого слоя при намотке изоляции на токоведущие части оборудования используется фторполимер (ФТ), который позволяет термически сварить между собой слои изоляции. Однако адгезионная прочность полимер-полимерного сварного соединения исходной пленки не превышает 0,7 Н/см, что приводит к существенному снижению электрической прочности на пробой всей изоляции.

С целью повышения адгезионной прочности полимер-полимерного сварного соединения ПИ и ФТ перед свариванием была проведена обработка ПМФ-пленки в плазме барьерного разряда. Как показали исследования, такая обработка, при дозе более 2,5 МДж/м², позволила увеличить шероховатость полиимидной стороны пленки в сравнении с исходной более чем в 20 раз. Как следствие протекающих на поверхности структурных и химических изменений – существенно (на 70 %) возросло значение поверхностной энергии по Фоуксу, рассчитанное методом Овенса – Вендта – Рабле – Кэлбли. В результате такой обработки прочность адгезионного соединения ПИ – ФТ увеличилась более чем в 5 раз (до 3,8 Н/см), что привело к существенному повышению электрической прочности при создании изоляции. Также установлено, что активационный эффект обработанных пленок сохраняется длительное время. Нами получены данные о сохранении активационного эффекта у пленки ПМФ-351, обработанной таким методом, в течение нескольких лет, что позволяет обеспечить гибкость технологического цикла при производстве электротехнической продукции.

УДК 539.2:678.07-416

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ

О. А. САРКИСОВ, А. М. МИХАЛКО, А. А. РОГАЧЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

В настоящее время создание быстродействующих систем мониторинга вредных или технологических газов на транспорте является актуальной научной и практической задачей. Основным элементом таких систем является газовый сенсор, который детектирует газы и определяет концентрационные характеристики компонентов газовых смесей. Среди быстродействующих газовых сенсоров весьма распространены газовые сенсоры хеморезистивного типа, сопротивление которых пропорционально концентрации газа. Преимуществом таких сенсоров является наличие простой системы регистрации сигнала и высокая чувствительность. Основная проблема существующих полупроводниковых хеморезистивных сенсоров заключается в их низкой избирательности, а также высокая рабочая температура (более 250 °С). В связи с этим в качестве чувствительных слоев применяют новые наноструктурные материалы, например, на основе проводящих полимеров, обладающие высокой чувствительностью, избирательностью, быстро-

действием и имеющие отклик при комнатной температуре. В этой связи особый интерес представляют полисопряженные проводящие полимеры на основе полианилина, которые обладают высокими электрофизическими свойствами и химической стабильностью. Высокие свойства полианилина проявляются в микро- и наноструктурированном состоянии, когда значительно увеличивается доля поверхностных атомов, и в таких системах помимо химического состава на свойства формируемых систем оказывают влияние как структурная организация полимерных макромолекул, так и особенности распределения допантов в ней.

Одним из перспективных направлений повышения проводимости, сенсорных свойств слоев полианилина является их допирование наночастицами металлов (Pd, Pt, Au, Ag, Cu). Данные допанты влияют на свойства формируемых слоев полианилина не только из-за своей собственной высокой проводимости, а в большей степени – за счет способности менять структурную организацию формируемых слоев на наноуровне вследствие своего особого наноструктурного состояния.

Нами разрабатывается полностью безрастворный плазмохимический метод получения проводящих композиционных покрытий полианилина из продуктов электронно-лучевого диспергирования в вакууме основания эмеральдина и соответствующего допанта. Данный метод был успешно реализован для одностадийного получения непроводящих и проводящих форм полианилина, в том числе содержащих наночастицы металлов.

Целью данной работы являлось совершенствование вакуумной плазмохимической технологии нанесения покрытий для селективных газовых сенсоров и определение их характеристик (времени отклика, избирательности, чувствительности).

Формирование покрытий на основе полианилина осуществлялось методом низкоэнергетичного электронно-лучевого нанесения. В качестве тигля использовали механическую смесь полианилина (основание эмеральдина) и соли соответствующих металлов (Au, Ag, Cu). Толщина композиционных покрытий не превышала 150 нм и ее контролировали в процессе нанесения с помощью кварцевого измерителя толщины (QCM). Для исследования морфологии поверхности подложки использовали сканирующую зондовую микроскопию, реализованную на микроскопе Solver P47 PRO (NT-MDT, Russia). Сканирование проводили одновременно в контактном режиме и режиме сопротивления растеканию тока. В этом случае помимо топографии поверхности получали данные о локальной проводимости путем измерения величины тока между образцом и зондом, при прикладываемом напряжении между ними в 5 В. Исследуемое покрытие наносилось на подложку, представляющую собой встречно-штыревой конденсатор с платиновыми электродами (высотой 220 нм, шириной 50 мкм, шагом 20 мкм) на которой и проводилось измерение вольтамперных и частотных зависимостей комплексного импеданса. Измерения осуществлялись с помощью измерителя иммитанса E7-20 при пошаговом изменении частоты f от 25 до 10^6 Гц с измерительным сигналом амплитудой в 1 В. Минимальный шаг изменения частоты до 1 кГц составлял 1 Гц, свыше 1 кГц – 1 кГц.

Установлено, что состав диспергируемой мишени влияет на параметры сенсорного отклика на анализируемые газы (аммиак, метан и др.), определяет электрофизические свойства наноконпозиционных покрытий на основе полианилина, формируемые методом электронно-лучевого диспергирования исходных компонентов.

Показана возможность формирования проводящих наноконпозиционных слоев на основе полианилина и солей металлов. Сорбция анализируемых газов на поверхности пленок приводит к изменению их химической структуры, а также к физическим превращениям в макромолекулах, например, нейтрализации образованных катион-радикалов. Данные результаты свидетельствуют о возможном одновременном протекании физической сорбции и процессов хемосорбции, управлении вклада каждого из процессов.

Установлено, что сенсоры на основе вакуумных покрытий полианилина и наночастиц серебра имеют низкое энергопотребление, высокое быстродействие ($T_{90} = 92$ с) и большую в 11 раз относительную чувствительность при концентрациях анализируемых паров аммиака до 10 ppm по сравнению с коммерчески доступными сенсорами.