

УДК 667.629.8:621.382

ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАНОВЫЕ ПОКРЫТИЯ С ПОВЫШЕННОЙ ТВЕРДОСТЬЮ И ЭЛАСТИЧНОСТЬЮ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Коблова Л.Б.

ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова», Владикавказ, e-mail: lara_koblova@mail.ru

Данная статья посвящена разработке кремнийорганических полимерных композиций, а также исследованию физико-химических свойств покрытий, которые были получены при модификации кремнийорганических лестничных блок-сополимеров. В качестве основы разрабатываемой композиции был использован кремнийорганический блок-сополимер «Лестосил СМ», который состоит из жестких фенилсилесквиоксанных и эластичных одноцепочечных диметилсилоксановых звеньев, содержащих концевые гидроксильные группы. В качестве отверждающей системы использовались метакрилатметилтриэтоксисилан и раствор полидиметилборцирконилоксана в триэтоксисилане. Чтобы повысить твердость покрытия при сохранении его высокой эластичности, в композицию на основе полиорганосилесквиоксана вводили различные по составу смолы, а также полидиметилборцирконилоксан, термостабилизированный при температуре более 250 °С. В качестве стабилизирующих добавок были использованы 8-оксихинолин, бензимидазол, 1,2,3-бензотриазол и анилин, которые также обеспечили дополнительную сшивку основы. Измерялись диэлектрическая проницаемость ϵ , удельное объемное электрическое сопротивление ρ_v , тангенс угла диэлектрических потерь $\tan \delta$, а также твердость и эластичность покрытий, а также их коррозионная активность к алюминию. Исследованы степень чистоты исходных компонентов, влагозащитные и адгезионные свойства покрытий. Показано, что полученные композиции могут быть рекомендованы для защиты p-n-переходов резисторов, микросхемных элементов, ГИС СВЧ, транзисторов и иных изделий электронной техники.

Ключевые слова: полиорганосилоксаны, защита поверхности интегральных устройств, полиорганосилесквиоксаны, электроизоляционные полимерные материалы, термоморозостойкие эластомерные покрытия, стабилизирующие добавки

POLYORGANOSILOXANE COATINGS WITH HIGH SOLIDITY AND ELASTICITY, DESIGNED FOR PROTECTION OF ELECTRONIC EQUIPMENT PRODUCTS

Koblova L.B.

North-Osetian State University named after Khetagurov, Vladikavkaz, e-mail: lara_koblova@mail.ru

This article is devoted to the development of organosilicon polymer compositions, as well as to the study of the physicochemical properties of coatings obtained with the modification of organosilicon block copolymers. The silicone block copolymer Lestosil SM was used as the basis of the composition being developed. It consists of rigid phenylsilsesquioxane and elastic single-chain dimethylsiloxane units with terminal hydroxyl groups. As the curing system, methacrylate methyltriethoxysilane and a solution of polydimethyl borancirnosiloxane in triethoxysilane were used. In order to increase the hardness of the coating while maintaining its high elasticity, various resin compositions were introduced into the composition based on polyorganosilsesquioxane, as well as polydimethylborancirnosiloxane thermally stabilized at temperatures above 250 °C. As stabilizing additives, 8-hydroxyquinoline, benzimidazole, 1,2,3-benzotriazole and aniline were used, which also provided additional base crosslinking. The specific permittivity ϵ , volumetric electrical resistance ρ_v , the tangent of the dielectric loss angle $\tan \delta$ and the elasticity and hardness of the coatings, as well as their corrosivity to aluminum were measured. The degree of purity of the initial components, moisture protection and adhesion properties of the coatings were investigated. It is shown that the developed compositions can be recommended for the protection of p-n junctions of resistors, microcircuit elements, microwave GIS, transistors and other electronics products.

Keywords: polyorganosiloxanes, surface protection of integral devices, polyorganosilsesquioxanes, electrical insulating polymeric materials, thermo frost resistant elastomeric coatings, stabilizing additives

Повышение технического уровня изделий микро- и нанoeлектроники, которые обладают стабильными характеристиками, а также высокой надёжностью при эксплуатации – актуальная задача в наше время.

Надёжность изделий электронной техники (ИЭТ) при эксплуатации в большой степени зависит от качества защиты их пассивных и активных элементов от воздействия влаги, а также иных климатических факторов полимерными электроизоляционными материалами. Это определяет ряд

специфических требований, которые предъявляются к защитным материалам [1]:

- высокая степень чистоты – содержание ионных примесей Na^+ , K^+ и Cl^- в композиции не должно быть более $1 \times 10^{-4} \%$ каждого иона;
- широкий диапазон рабочих температур от -70 до $+250^\circ\text{C}$;
- стойкость к кратковременному воздействию температур $300\text{--}400^\circ\text{C}$;
- высокая адгезия к конструкционным материалам: Al, Si, Cu, Au, феррит, поликор, стеклотекстолит и др.;

- высокие влагозащитные и электроизоляционные свойства;
- коррозиопассивность по отношению к Al и Cu;
- сочетание твердости и высокой прочности с эластичностью покрытия;
- высокие технологические свойства: композиция наносится распылением, окунанием, наливом, кистью в один или несколько слоев;
- отверждение покрытия при температуре не выше $+100^{\circ}\text{C}$ в течение 3–5 часов;
- стойкость покрытия к воздействию жестких климатических факторов: термоциклирования, высокой влажности, теплового старения, кипячения и других.

Этим требованиям в наибольшей мере отвечают кремнийорганические полимерные материалы, обладающие высокими влагозащитными и электроизоляционными свойствами в широком диапазоне температур. Зарубежные фирмы, такие как «Dow Corning Co.» (США) и «Shin-Etsu Chemical Co» (Япония), для защиты полупроводниковых приборов (ПП) и интегральных схем (ИС) предлагают серию силиконовых эластомеров с высокой степенью химической чистоты, обладающих широким диапазоном реологических свойств (от мягкого геля до тиксотропных компаундов) [2].

Наибольший интерес для разработки композиции, удовлетворяющей указанным требованиям, представляют кремнийорганические блок-сополимеры лестничного строения, которые состоят из жестких фенилсилесквиоксановых $[\text{PhSiO}_{3/2}]_m$ и эластичных диметилсилоксановых $[(\text{CH}_3)_2\text{SiO}]_n$ звеньев, содержащих концевые гидроксильные группы [3].

Отечественной промышленностью (ФГУП «НИИСК», г. Санкт-Петербург) производится блок-сополимер «Лестосил СМ» (ТУ 38.031.006-90), который позволяет получать термостойкие электроизоляционные покрытия, сочетающие прочность и твердость с высокой эластичностью. «Лестосил СМ» – порошкообразный продукт, способный растворяться в этилацетате, бутилацетате и толуоле. Согласно техническим условиям полимер используется в виде раствора для получения адгезионных, а также ненаполненных и наполненных покрытий для различных приборов, конструкций, деталей и изделий, которые работают при температурах от -60°C до $+300^{\circ}\text{C}$. Покрытие устойчиво в среде водяного пара (в том числе перегретого), озоне, кислороде, пищевых кислотах, обладает исключительной гидрофобностью, нетоксично и биоинертно. Разрешено для применения в хлебопекарной промышленно-

сти (покрытие хлебных форм), в медицине (защита титановых кардиостимуляторов). Композицию можно использовать как универсальное электроизоляционное гидрофобное влагозащитное покрытие изделий электронной техники: ячеек, блоков и узлов на микросхемах, микросборок и других изделий электронной техники с объемным и печатным монтажом, печатных плат на стеклопластике, гетинаксе, полиамидной пленке, керамике; конструкционных узлов из разнородных материалов, линий задержки, антенн, волноводов, солнечных батарей, обтекателей; для пропитки пористых и волокнистых материалов (бумаги, тканей, керамики, ферритов), а также в качестве антиадгезионного покрытия.

Цель исследования: получение новой кремнийорганической композиции низкотемпературного отверждения на основе блок-сополимера «Лестосил СМ», позволяющей получать термо- и морозостойкие коррозиопассивные эластомерные покрытия с повышенными адгезионными, влагозащитными и электроизоляционными свойствами и твердостью.

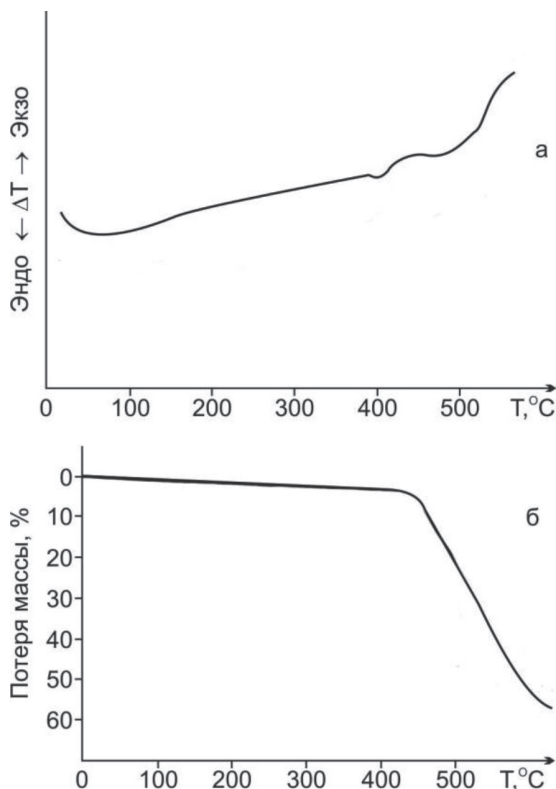
Материалы и методы исследования

Термостойкость блок-сополимера «Лестосил СМ» определялась методами термогравиметрического и дифференциально-термического анализов (ТГА и ДТА). Термограммы, которые были получены на дериватографе системы Ф. Паулик, И. Паулик и Л. Эрден в атмосфере воздуха при температурном нагреве со скоростью $7^{\circ}/\text{мин.}$, показывают, что температура начала термоокислительной деструкции полимера равна 380°C , а 5% потерю массы можно наблюдать при 400°C (рисунок).

Содержание ионных примесей в блок-сополимере не контролируется, поэтому его предварительно очищали методом пересаживания этиловым спиртом из толуольного раствора. Содержание ионогенных примесей металлов в исходном и очищенном полимере определяется методом атомно-эмиссионного спектрального анализа, основанным на концентрировании примесей на угольном коллекторе [4]. Примеси ионов Cl^- в кремнийорганических полимерах определяются потенциометрическим титрованием водного экстракта полимера раствором AgNO_3 с серебряным индикаторным электродом. Как показали проведенные исследования, содержание наиболее подвижных ионов Na^+ , K^+ и Cl^- , которые способны вызывать появление токов утечки, снижать рабочие характеристики изделий и вызывать коррозию их металлических конструктивных элементов, в очищенном блок-сополимере составляет не более $1 \times 10^{-4}\%$. После очищения продукт растворяли в толуоле. Покрытие, которое было получено из 20% раствора очищенного продукта в толуоле, не оказывает коррозионного действия на алюминий.

Коррозионная активность композиции определялась по следующей методике [5]. Испытание проводится при температуре $85 \pm 2^{\circ}\text{C}$, постоянном напряжении $100 \pm 5\text{В}$ и относительной влажности $95 \pm 3\%$. Испытуемое покрытие в виде пленки раз-

мером 50x4 мм помещают на электроды, предварительно покрытые алюминиевой фольгой. Электроды закрепляют на плате из полиметилметакрилата. Для улучшения контакта пленки с электродами и фольгой материал с наружной поверхности необходимо прижать грузом. Электроды подключаются к источнику питания. Испытания проводятся 96 часов. После окончания этого времени плату с электродами и образцами извлекают, фольгу визуально осматривают под микроскопом. Оценка результатов производится по 4-балльной системе от 0 до 3 баллов в зависимости от изменений фольги: 0 баллов – отсутствие коррозии, 3 балла – очень высокая степень коррозии.



Кривые ДТА (а) и ТГА (б) блок-сополимера «Лестосил СМ»

Коррозионная активность покрытия, полученного из 20% раствора блок-сополимера «Лестосил СМ» по отношению к алюминиевой фольге составляет 0 баллов. Это значит, что материал является коррозионно-пассивным.

Благодаря наличию концевых гидроксильных групп, массовая доля которых составляет 0,4–0,5%, блок-сополимер «Лестосил СМ» может отверждаться при комнатной температуре по реакции поликонденсации под воздействием полифункциональных кремнийорганических соединений: органоаминоалкокси- и ацилоксисиланов, кремнийорганических амидов и оксидов, а также оловоорганических соединений в присутствии сшивающих агентов. В процессе отверждения блок-сополимера указанными соединениями по реакции поликонденсации образуются побочные продукты: уксусная кислота, вода, спирт и другие, что приводит к коррозионному дей-

ствию покрытия на конструкционные элементы изделия. Чтобы избежать этого, при выборе отверждающей системы нужно контролировать коррозионную активность отвержденного покрытия. Основными критериями при выборе отверждающей системы для блок-сополимера «Лестосил СМ» были: получение стабильной однокомпонентной композиции со сроком хранения не меньше 3 месяцев, высокие электроизоляционные и адгезионные свойства покрытия, которое было получено по режиму отверждения при температуре не выше +70°C в течение 4–5 часов, и отсутствие коррозии на активных элементах. Этим требованиям в полной мере отвечает отверждающая система, которая представляет собой 10–20% раствор полидиметилборцирконсилоксана (БЦС) в триэтоксисилане [5–8]. Использование полидиметилборцирконсилоксана, содержащего атомы В и Zr в полимерной цепи в качестве компонента отверждающей системы, позволяет получать коррозионно-пассивные электроизоляционные покрытия, которые обладают высокой адгезией к конструкционным материалам и работают в широком диапазоне температур при воздействии повышенной влажности. Показано, что при отверждении композиций, в состав которых входит раствор БЦС в триэтоксисилане, не происходит выделения побочных продуктов, способных вызывать коррозию металлических элементов (Al и Cu), поэтому покрытия обладают высокими электроизоляционными и влагозащитными свойствами в широком диапазоне температур и напряжений [4–8].

Полидиметилборцирконсилоксан является продуктом взаимодействия ацетилацетоната циркония и борной кислоты с линейным α,ω -дигидроксиполидиметилсилоксаном. Он получается при массовом соотношении компонентов 100:16,8:0,65, которое соответствует соотношению Si : B : Zr = 1000:200:1, в присутствии воды в реакторе из нержавеющей стали, снабженном системой подачи воздуха, мешалкой, а также рубашкой для обогрева. Высушенный и очищенный полимер – вязкий прозрачный гидролитически стойкий продукт с содержанием В 0,6–0,8 мас. % и Zr 0,0002 мас. %. Продукт длительно хранится в герметично закрытых фторопластовых емкостях. Содержание ионогенных примесей в полимере (ионов Na^+ , K^+ и Cl^-) составляет не более $5 \cdot 10^{-5}\%$ [5].

Термостойкость синтезированного полимера изучали методами ТГА и ДТА. Температура начала термоокислительной деструкции БЦС составляет 370°C, а 5%-ную потерю массы можно наблюдать при 390°C. Это позволяет использовать указанный компонент при получении термостойких композиций, которые длительно работают под воздействием высоких температур [5].

На основе блок-сополимера «Лестосил СМ» и раствора полидиметилборцирконсилоксана в триэтоксисилане в качестве отверждающей системы была разработана однокомпонентная композиция низкотемпературного отверждения, позволяющая получать коррозионно-пассивные покрытия, обладающие отличной адгезией к различным конструкционным материалам, как в нормальных климатических условиях, так и при условии воздействия жестких климатических факторов [9, 10]. Покрытие может работать в диапазоне температур от –70 до +250°C (кратковременно до +400°C), сочетает прочность с высокой эластичностью, а также имеет высокие диэлектрические характеристики (в том числе в СВЧ-диапазоне) и влагозащитные свойства. Композиция называется

«Лак марки ЭКТ» и производится в ОАО «НИИЭМ» по техническим условиям БУО.028.122 ТУ. Композиция характеризуется высокой степенью чистоты: содержание ионов Na^+ , K^+ и Cl^- не превышает $1 \times 10^{-4}\%$, что регламентировано в технической документации. Лак ЭКТ широко применяется для защиты плат и активных элементов СВЧ изделий электронной техники.

Недостатком силоксанового покрытия на основе лака ЭКТ является его невысокая твердость. По шкале маятникового прибора типа М-3 по ГОСТ 5233-67 твердость лаковой пленки составляет 0,30–0,35, что недостаточно для защитных покрытий, длительно работающих в жестких режимах эксплуатации. Для надежной защиты ИЭТ требуется покрытие с твердостью не менее 0,5 по шкале маятникового прибора при сохранении эластичности лаковой пленки при изгибе не более 1 мм согласно ГОСТ 6806-73.

Результаты исследования и их обсуждение

С целью повышения твердости покрытия были проведены следующие работы:

- модификация композиций на основе блок-сополимера «Лестосил СМ» жесткими кремнийорганическими, эпоксидными и эпоксикремнийорганическими смолами;
- введение в композицию полиборсилоксана, представляющего собой жесткий стеклообразный материал;
- введение в композицию полидиметилборцирконсилоксана (БЦС), термостабилизированного при температуре выше 250°C .

В качестве отверждающей системы использовали раствор БЦС в триэтоксисилане и метакрилатметилтриэтоксисилан, которые позволяют проводить отверждение покрытий при температуре не выше 70°C .

С целью повышения стабильности диэлектрических параметров покрытия, в частности, при воздействии температуры $+250^\circ\text{C}$, в композиции вводили ряд стабилизирующих добавок: 8-оксихинолин, бензимидазол, 1,2,3-бензтриазол и анилин, которые также обеспечивали и дополнительную сшивку основы.

Композиции получали при смешивании основы – 20 % раствора блок-сополимера «Лестосил СМ» в толуоле – с отверждающей системой и модифицирующими добавками. Отверждение композиций проводилось по следующему режиму: после нанесения в специальные фторопластовые формы или на подложку образцы выдерживали на воздухе при комнатной температуре до полного испарения растворителя, затем проводили термообработку при температуре $+70^\circ\text{C}$ в течение 4 часов.

Электроизоляционные свойства покрытий определяли: удельное объемное электрическое сопротивление ρ_v по ГОСТ 6433.2-71, тангенс угла диэлектрических

потерь $\text{tg } \delta$ и диэлектрическую проницаемость ϵ по ГОСТ 22372-77 на частоте 10^6 Гц .

Модификацию смолами проводили путем смешения растворов «Лестосила» и смолы. Было показано, что блок-сополимер не совмещается с олигометилсилесквиоксановыми смолами, покрытия из которых имеют высокую твердость. В процессе хранения составов наблюдается их расслоение. Введение в композицию эпоксикремнийорганической смолы СК-25 (20%-ный раствор в толуоле) в количестве 5–15 мас. ч. на 100 мас. ч. 20%-ного раствора «Лестосила» не ведёт к увеличению твердости покрытия при отверждении БЦС, однако при этом тангенс угла диэлектрических потерь возрастает почти на порядок до $1 \cdot 10^{-2}$. Полиметилфенилсилоксановая смола К-9 хорошо совмещается с «Лестосилом», композиция стабильна в течение длительного времени. При отверждении таких составов раствором БЦС в триэтоксисилане были получены прочные эластичные пленки с низким водопоглощением и хорошей адгезией. Однако твердость покрытий при введении 10–20 мас. ч. 20%-ного раствора смолы К-9 в толуоле не превышает значения 0,38.

Как показано в работе [10], введение в композицию на основе блок-сополимера «Лестосил СМ» эпоксикремнийорганической смолы СЭДМ-2 приводит к увеличению прочности и твердости покрытия до 0,42–0,45, однако при этом снижается эластичность пленки и электроизоляционные свойства.

Для увеличения твердости покрытий в композицию вводили полиборсилоксан (БС), синтезируемый из дифенилсиландиола и борной кислоты, представляющий собой стеклообразную твердую массу. Твердость покрытий на основе композиций № 1 и № 2, состав которых приводится в таблице, составляет 0,49–0,58, что соответствует необходимым требованиям к материалу. Однако электроизоляционные свойства покрытий немного ниже по сравнению с лаком ЭКТ (в частности, значение ρ_v при температуре 250°C).

На следующем этапе работы по повышению твердости покрытия было проведение процесса термостабилизации полидиметилборцирконсилоксана БЦС в течение 4 часов при температуре $250\text{--}280^\circ\text{C}$. Синтезированный в реакторе при температуре равной 200°C БЦС представляет собой вязкотекучую густую массу каучукоподобной консистенции. После термообработки полимер становится твердым (почти хрупким), теряет текучее состояние, но хорошо растворяется в алкоксисиланах.

Свойства покрытий, полученных на основе блок-сополимера «Лестосил СМ», отвержденных полиборсилоксаном (БС) и термостабилизированным БЦС (Т)

№ ком.	Компоненты отверждающей системы и их количество, мас. ч., на 100 мас. ч. основы	Диэлектрические характеристики						Корр. актив. к Al	Тверд. по маятн.к. приб.	Эласт., мм
		При нормальных климатич. условиях			При температуре 250°С					
		ρ_v , Ом·см	tg δ	ε	ρ_v , Ом·см	tg δ	ε			
	Лак ЭКТ, БУО.028.122 ТУ	$5 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	3,4	$1 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	2,2	0	0,30–0,35	1
1	10% раствор БС в триэтоксисилане – 4 Метакрилатметилтриэтоксисилан – 0,5	$5 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{-3}$	3,2	$1 \cdot 10^{10}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	2,4	0	0,49	1
2	20% раствор БС в триэтоксисилане – 6 Метакрилатметилтриэтоксисилан – 0,5	$5 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	3,4	$3 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	2,2	0	0,58	1
3	10% раствор БЦС (Т) в триэтоксисилане – 4 10% раствор олигоорганосилазана МВЭТ в толуоле – 4	$1 \cdot 10^{16}$	$8 \cdot 10^{-4}$	3,2	$2 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	2,2	1	0,43	1
4	10% раствор БЦС (Т) в триэтоксисилане – 4 10% раствор олигоорганосилазана МВЭТ в толуоле – 8	$1 \cdot 10^{16}$	$9 \cdot 10^{-4}$	3,1	$4 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{-3}$	2,2	1	0,44	1
5	10% раствор БЦС (Т) в триэтоксисилане – 4 Метакрилатметилтриэтоксисилан – 0,5	$4 \cdot 10^{15}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	3,8	$1 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	2,4	0	0,46	1
6	20% раствор БЦС (Т) в триэтоксисилане – 4 Метакрилатметилтриэтоксисилан – 0,5	$6 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	2,9	$7 \cdot 10^{11}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	2,2	0	0,50	1
7	20% раствор БЦС (Т) в триэтоксисилане – 6 Метакрилатметилтриэтоксисилан – 0,5 8-оксинолин – 0,1	$> 1 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{-3}$	3,3	$6 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{-3}$	2,4	0	0,56	1
8	20% раствор БЦС (Т) в триэтоксисилане – 6 Метакрилатметилтриэтоксисилан – 0,5 1,2,3-бензтриазол – 0,1	$> 1 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{-3}$	3,0	$4 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{-3}$	3,0	0	0,52	1
9	20% раствор БЦС (Т) в триэтоксисилане – 6 Метакрилатметилтриэтоксисилан – 0,5 Бензимидазол – 0,1	$> 1 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{-3}$	3,4	$4 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{-3}$	3,0	0	0,55	1
10	20% раствор БЦС (Т) в триэтоксисилане – 6 Метакрилатметилтриэтоксисилан – 0,5 Анилин – 0,1	$> 1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{-3}$	2,9	$8 \cdot 10^{10}$	$6 \cdot 10^{-3}$	2,4	0	0,59	1

Введение в композицию на основе блок-сополимера «Лестосил СМ» термостабилизированного БЦС приводит к повышению твердости покрытий (композиции № 3–10, таблица). Свойства композиций с различными стабилизирующими добавками приведены в таблице. Как видно из приведенных данных, твердость композиций в значительной степени зависит от количества введенного борцирконсилоксана. Так, 10% раствор БЦС (4 мас. ч на 100 мас. ч. основы) повышает твердость покрытий до 0,43–0,46. Введение же 20% раствора приводит к увеличению твердости до 0,50 и выше, что соответствует требованиям технического задания. При этом жизнеспособность составов сохраняется.

Анализ свойств композиций, отвержденных термостабилизированным БЦС, на основании данных таблицы показывает, что оптимальными свойствами (высокими диэлектрическими параметрами, отсутствием коррозионного действия, достаточной твердостью и эластичностью покрытий) обладают составы № 6, 7 и 10. Электрическая прочность в зависимости от толщины покрытий составляет 40–55 кВ/мм. Влагозащитные и адгезионные свойства композиций соответствуют требованиям, которые предъявляют к защитным материалам, применяемым в микроэлектронике и электронной технике.

Заключение

При выполнении работы был проведен анализ литературных данных по требованиям, предъявляемым к электроизоляционным материалам, применяемым для защиты активных и пассивных элементов изделий электронной техники. Показано, что материалы на основе кремнийорганических полимеров широко используются для защиты полупроводниковых приборов и интегральных схем, как в отечественном электронном приборостроении, так и за рубежом. Это обусловлено их высокими электроизоляционными и влагозащитными свойствами, сохраняющимися в жестких условиях эксплуатации изделий, устойчивостью к действию низких и высоких температур в диапазоне от –60 до +300 °С, радиационной стойкостью. В работе исследована возможность повышения твердости покрытий на основе

силоксанового блок-сополимера «Лестосил СМ» и полидиметилборцирконсилоксана, термостабилизированного при температуре выше 250–280 °С. Изучено влияние стабилизирующих добавок на основе азотсодержащих органических соединений на диэлектрические свойства композиций. Полученные композиции можно рекомендовать для защиты р-п-переходов транзисторов, резисторов, микросхемных элементов, ГИС СВЧ и иных изделий электронной техники.

Работа выполнена в рамках программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК» 2015) в Кабардино-Балкарской Республике.

Список литературы

1. Агаларзаде П.С., Петрик А.И., Изидинов С.О. Основы конструирования и технологии обработки поверхности р-п-переходов. – М.: Советское радио, 1978. – 224 с.
2. Попова Г.Е. Кремнийорганические защитные материалы в изделиях микроэлектроники и в технологии печатных плат. Обзоры по электронной технике. Серия 6. Материалы. – 1988. – Вып. 8 (1414). – 43 с.
3. Долгоплоск С.Б. и др. Новые силоксановые блок-сополимеры для термоморозостойких эластичных материалов // Промышленность синтетического каучука. – 1981. – № 1. – С. 14–15.
4. Неёлова О.В., Газзаева Р.А. Химический анализ кремнийорганических полимеров и материалов на их основе, применяемых в микро- и наноэлектронике // Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т. 42, № 5. – С. 112–118.
5. Неёлова О.В., Газзаева Р.А. Отверждающая система для полиорганосилоксановых композиций // Клеи. Герметики. Технологии. – 2016. – № 9. – С. 2–8.
6. Неёлова О.В. Высококачественные кремнийорганические заливочные компаунды, предназначенные для применения в микроэлектронике // Изв. вузов. Сер. «Химия и хим. технология». – 2007. – Т. 50. Вып. 11. – С. 78–81.
7. Неёлова О.В., Газзаева Р.А. Полиорганосилоксановая композиция для склеивания стекла с металлом // Клеи. Герметики. Технологии. – 2015. – № 5. – С. 2–7.
8. Неёлова О.В., Мамиева З.У., Плиева А.Х. Однокомпонентные кремнийорганические компаунды со специальными свойствами, предназначенные для применения в микроэлектронике // Химия и химическое образование. XXI век. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. – Владикавказ: Изд-во СОГУ, 2014. – С. 230–234.
9. Неёлова О.В. Кремнийорганическая композиция для защиты изделий электронной техники с повышенными адгезионными свойствами и термо- и морозостойкостью покрытий // Изв. вузов. Сер. «Химия и хим. технология». – 2014. – Т. 57. № 9. – С. 86–92.
10. Неёлова О.В., Газзаева Р.А., Коблова Л.Б. Защитные покрытия на основе кремнийорганических лестничных блок-сополимеров, применяемых в микроэлектронике // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 2–1. – С. 76–80.