

Физика плазмы и плазменные методы

УДК 537.527.9

Исследование воздействия диэлектрического барьерного разряда на кремнийсодержащую плёнку

В. В. Андреев

В работе исследованы микроструктура и элементный состав нанесённой на поверхность текстолита плёнки в окрестности точки его электрического пробоя. Цель исследования связана с необходимостью разработки новых диэлектрических материалов, способных противостоять разрушительному воздействию электрического поля, микроразрядов, а также озона, являющегося очень активным элементом, в разрядной ячейке диэлектрического барьерного разряда в воздухе при атмосферном давлении.

PACS: 52.80.Tn

Ключевые слова: диэлектрический барьерный разряд, микроразряд, плазмохимический генератор, поверхностная плёнка, кремнийсодержащая плёнка.

Введение

Исследование воздействия в ячейке диэлектрического барьерного разряда электрического поля, микроразрядов, а также озона, являющегося очень активным элементом, на диэлектрический барьер представляет значительный интерес при разработке плазмохимических генераторов озона. Это связано с тем, что производительность по озону плазмохимического генератора и его долговечность во многом определяются физико-химическими и электрофизическими характеристиками барьера [1—3]. Кроме того, низкотемпературная плазма может быть применена для направленного изменения физико-химических свойств поверхностных слоев материалов [4—8].

В работе исследованы микроструктура и элементный состав нанесённой на поверхность текстолита плёнки в окрестности точки его электрического пробоя с целью нахождения путей разработки новых диэлектрических материалов, способных противостоять разрушительному воздействию электрического поля, микроразрядов, а также озона.

Постановка работы

В работе воздействию микроразрядов в ячейке диэлектрического барьерного разряда (рис. 1) подвергалась плёнка на поверхности текстолита.

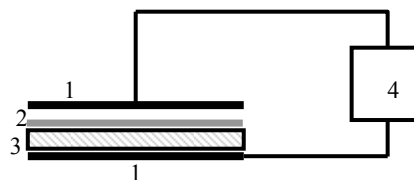


Рис. 1. Схематическое изображение ячейки диэлектрического барьерного разряда: 1 — плоские металлические электроды пластинчатой формы; 2 — плёнка на поверхности текстолита; 3 — пластина из текстолита; 4 — высоковольтный источник питания

Пластина из текстолита имеет размеры 10×15 см и толщину 0,5 мм. На верхнюю поверхность текстолита (см. рис. 1) была нанесена плёнка, представляющая собой смесь термостойкой эмали «Церта» и термостойкого лака КО-85 с добавкой порошка Al_2O_3 . Объёмная доля порошка Al_2O_3 при этом составляла 50 %. По составу лак КО-85 представляет собой смесь раствора модифицированных кремнийорганических смол и глифталевого лака в ароматических и алифатических растворителях. Эмаль термостойкая антикоррозионная «Церта» является суспензией алюминиевой пудры или черного термостойкого пигмента, полифенилсилоксановой смолы, микропалька в растворе толуола и бутилацетата. Количе-

Андреев Всеволод Владимирович, доцент.
Чувашский государственный университет
им. И. Н. Ульянова.
Россия, 428015, г. Чебоксары, Московский пр., 15.
Тел. 8 (902) 287-05-12.
E-mail: andreev_vsevolod@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20 октября 2014 г.

© Андреев В. В., 2014

ственный состав эмали следующий: полифенилсилоксановая смола — 50 %, пигмент термостойкий (различных цветов) — 15 %, микротальк — 10 %, бутилацетат — 5 %, толуол — 20 %.

Один из металлических электродов пластинчатой формы 1, расположен с зазором в 1 мм над текстолитом (см. рис. 1). На металлические электроды в ячейке диэлектрического барьерного разряда подавалось напряжение с действующим значением 7 кВ и с частотой 50 Гц. Воздействие микроразрядов на плёнку продолжалось до тех пор, пока не происходил пробой диэлектрика (текстолита). Процесс происходил в воздухе при атмосферном давлении. Продолжительность воздействия диэлектрического барьерного разряда на поверхностную плёнку составляла более 4 часов.

Диагностика и результаты

Микроструктура образцов была исследована методом сканирующей электронной микроскопии с полевой эмиссией (FE-SEM) на электронном микроскопе Hitachi SU8000. Съёмку изображений (см. рис. 2 и 3) вели в режиме регистрации вторичных электронов при ускоряющем напряжении 30 кВ и рабочем расстоянии 8—15 мм. Оптимизация аналитических измерений проведена в рамках описанного ранее подхода [9]. Перед съёмкой образцы помещали на поверхность алюминиевого столика диаметром 25 мм, фиксировали при помощи проводящего клея и напыляли на них проводящий слой углерода толщиной 13 нм при помощи метода магнетронного распыления, описанного ранее [10]. Морфология образцов исследовалась с учетом поправки на поверхностные эффекты напыления проводящего слоя [10].

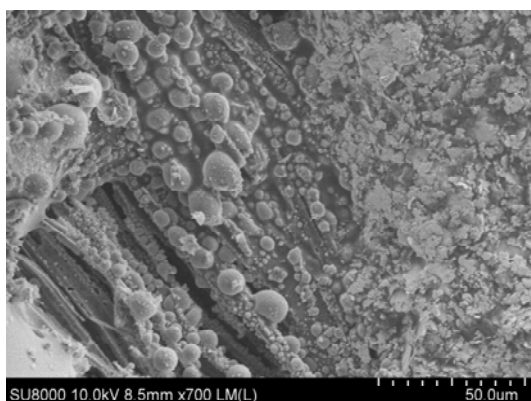
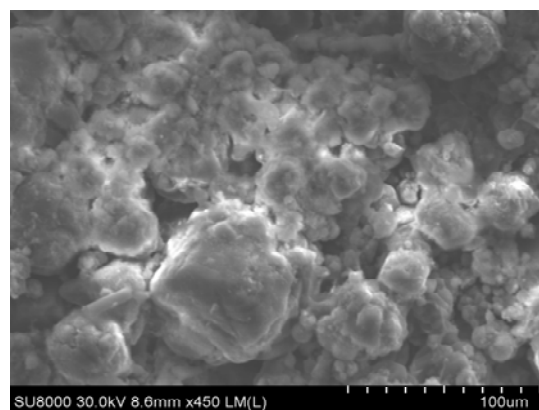


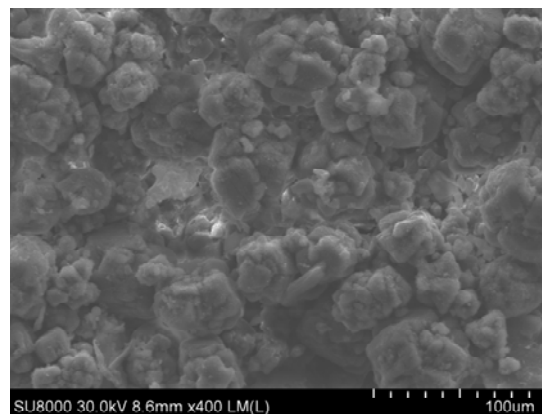
Рис. 2. FE-SEM-изображение нанесённой на поверхность плёнки в зоне, непосредственно прилегающей к области электрического пробоя текстолита

Изображение на рис. 2 показывает, что в зоне, непосредственно прилегающей к области электрического пробоя текстолита, произошло значи-

тельное разрушение поверхностной плёнки. При удалении от зоны электрического пробоя текстолита на расстояния, равные примерно 0,8—1,2 см, наблюдается более равномерное распределение микроструктур на изображении с чёткими границами отдельных микрогранул (см. рис. 3, б). В промежуточной области перехода от зоны электрического пробоя текстолита к области, в которой не было пробоя, наблюдаются более крупные микрообразования (см. рис. 3, а). При этом границы отдельных микроструктур проявляются менее чётко. Подобная картина связана как с влиянием высокой температуры в области электрического пробоя диэлектрика, так и с воздействием электрического поля, микроразрядов, а также озона, являющегося, как уже сказано, очень активным элементом.



а



б

Рис. 3. FE-SEM-изображения нанесённой на поверхность текстолита плёнки в окрестности его электрического пробоя. При последовательном переходе от а к б происходит удаление от зоны пробоя

Было осуществлено EDX-SEM-исследование образцов и их картографирование с помощью энерго-дисперсионного спектрометра Oxford Instruments X-max. Перед измерением образцы были покрыты тонкой пленкой углерода (13 нм) с помощью углеродного напылителя Cressington 208.

Из изображений на рис. 4 следует, что точки 2—7 непосредственно прилегают к зоне электрического пробоя текстолита. Элементный состав в точках 2—7 представлен в табл. 1. Нумерация столбцов таблицы, в которых указаны атомные доли элементов, соответствует нумерации на изображениях на рис. 4.

В табл. 2 представлен элементный состав в точках 8—13 (см. 2—4 изображения на рис. 4), которые находятся на удалении от 0,4 до 0,75 см от зоны электрического пробоя диэлектрика. Нумерация столбцов таблицы, в которых указаны атомные доли элементов, соответствует нумерации на изображениях на рис. 4.

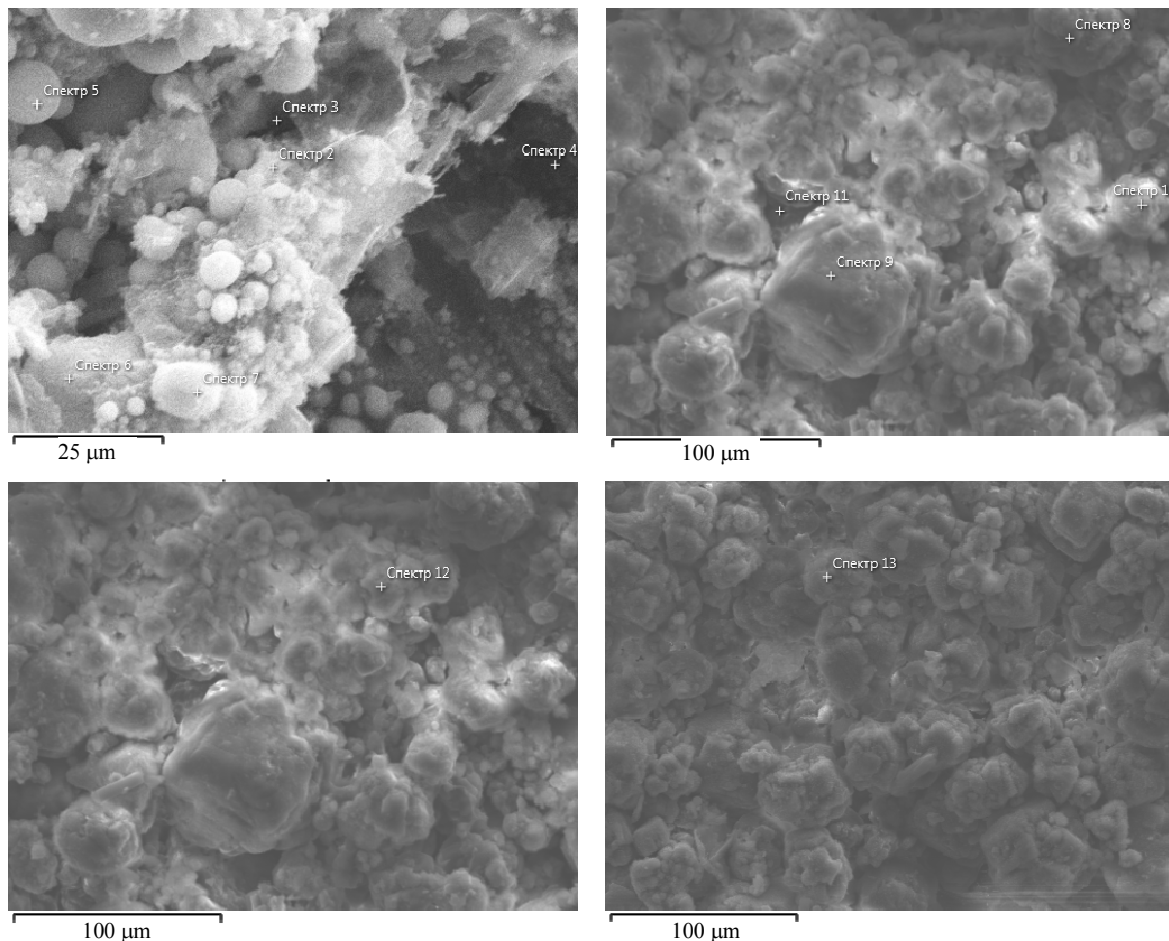


Рис. 4. Области, в которых определялся элементный состав, представленный в табл. 1 и 2

Таблица 1

Элементный состав в области, примыкающей к зоне электрического пробоя диэлектрика

Элем.	Атомные доли, %					
	2	3	4	5	6	7
O	67,4	-	70,6	59,3	65,1	62,1
Al	6,0	7,5	4,4	5,5	14,9	6,8
Si	16,1	27,7	9,8	24,7	13,2	20,9
Ca	7,3	60,6	11,6	6,7	5,9	5,2
Mg	2,8	—	—	3,6	0,9	4,5
Ag	0,4	2,1	3,6	0,2	—	0,5
Cl	—	2,1	—	—	—	—

Таблица 2

Элементный состав на расстояниях от 0,7 до 1,2 см от точки электрического пробоя диэлектрика

Элем.	Атомные доли, %					
	8	9	10	11	12	13
O	41,9	65,5	54,6	68,4	61,7	62,0
Al	53,6	30,7	39,7	27,6	33,5	34,5
Si	3,8	3,8	5,6	3,2	4,8	3,4
Ca	0,2	—	0,1	0,8	—	0,1
S	0,2	—	—	—	—	—
K	0,1	—	—	—	—	—
Cl	0,2	—	—	—	—	—

Элементный состав варьируется в достаточно широких пределах в разных точках в поверхностной плёнке. По данным табл. 1 и 2 можно утверждать, что особых закономерностей в содержании кислорода по мере удаления от зоны электрического пробоя диэлектрика не наблюдается. Содержание кислорода в разных точках меняется от 41,9 до 70,6 %. Обращает на себя только точка 3 на первом из изображений на рис. 4, в которой кислород отсутствует (см. табл. 1). В этой точке преобладающими по содержанию являются кальций (атомная доля составляет 60,6 %) и кремний (атомная доля составляет 27,7 %). В то же время содержание кальция в атомных долях в области, прилегающей к зоне электрического пробоя текстолита, колеблется от 5,2 до 11,6 % (табл. 1). На расстояниях от 0,7 до 1,2 см от точки электрического пробоя текстолита содержание кальция составляет в атомных долях менее 0,2 % (см. табл. 2). Довольно существенна разница в содержании кремния в области, непосредственно прилегающей к зоне электрического пробоя текстолита (меняется от 9,8 до 27,7 %, табл. 1), и в области, удаленной от точки электрического пробоя на расстояния от 0,7 до 1,2 см (здесь меняется от 3,2 до 5,6 %, табл. 2). Также существенная разница наблюдается в содержании алюминия. В области, непосредственно прилегающей к точке электрического пробоя текстолита, содержание алюминия меняется в разных точках от 4,4 до 14,9 % (табл. 1). В области, удаленной от точки электрического пробоя текстолита на расстояния от 0,7 до 1,2 см, содержание алюминия выше и меняется от 27,6 до 53,6 % (табл. 2).

Таким образом, из результатов, приведённых в табл. 1 и 2, можно сделать вывод, что атомные доли содержания различных элементов на расстояниях 0,7—1,2 см от точки электрического пробоя диэлектрика существенно отличаются от аналогичных величин в зоне, непосредственно прилегающей к точке пробоя. Следовательно, результаты исследования показывают существенное влияние интенсивности микрозарядов на элементный состав поверхностной плёнки, нанесённой на поверхность диэлектрика (в данном исследовании — текстолита). Также следует отметить, что в экспериментах по воздействию микрозарядов на диэлектрик в ячейке диэлектрического

барьерного разряда при использовании в качестве барьера текстолита с нанесённой на поверхность кремнийсодержащей плёнкой электрический пробой происходил более чем через 4 часа. В аналогичных условиях, но в случае применения текстолита без плёнки, он пробивался менее чем через 30 минут.

Заключение

В работе исследованы микроструктура и элементный состав нанесённой на поверхность текстолита плёнки в окрестности точки его электрического пробоя. Полученные результаты могут способствовать разработке новых диэлектрических материалов, способных противостоять разрушительному воздействию электрического поля, микрозарядов, а также озона, являющегося очень активным элементом, в разрядной ячейке диэлектрического барьерного разряда в воздухе при атмосферном давлении.

Автор благодарит отдел структурных исследований Института органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН за исследование образцов методом электронной микроскопии.

Литература

1. *Самойлович В. Г., Гибалов В. И., Козлов К. В.* Физическая химия барьерного разряда. — М.: Изд-во МГУ, 1989.
2. *Андреев В. В., Матюнин А. Н., Пичугин Ю. П.* // Прикладная физика. 2014. № 3. С.39.
3. *Андреев В. В., Матюнин А. Н., Пичугин Ю. П., Телегин В. Г., Телегин Г. Г.* // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез. 2011. № 4. С. 112.
4. *Табаков В. П.* Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. — М.: Машиностроение, 2008.
5. *Погребняк А. Д., Тюрин Ю. Н.* // УФН. 2005. Т. 175. Вып. 5. С. 515.
6. *Погребняк А. Д., Кислицин С. Б., Комаров Ф. Ф. и др.* // Поверхность. 2009. № 1. С. 96.
7. *Kudinov V. V., Krylov I. K., Abdulin I. Sh., et al.* // Inorganic Materials: Applied Research. 2012. V. 3. No. 3. P. 257.
8. *Скрипникова Н. К., Отмахов В. И., Волокитин О. Г.* // Стекло и керамика. 2010. № 1. С. 19.
9. *Качала В. В., Хемчян Л. Л., Кашин А. С. и др.* // Усп. хим. 2013. Т. 82. С. 648.
10. *Кашин А. С., Анаников В. П.* // Изв. АН. Сер. Хим. 2011. № 12. С. 2551.

Study of impact of dielectric barrier discharge on the silicon-containing film

V. V. Andreev

Chuvash State University
15 Moskovskii pr., Cheboksary, 428015, Russia
E-mail: andreev_vsevolod@mail.ru

Received October 20, 2014

In this paper the microstructure and elemental composition of the applied onto the textolite surface film are investigated in the neighborhood of its electrical breakdown. Aim of the study is connected with necessity of developing of new dielectric materials which capable to resist in the discharge cell of dielectric barrier discharge in air at atmospheric pressure to the destructive impact of the electric field, micro-discharges, as well as ozone, which is a very active element.

PACS 52.80.Tn

Keywords: dielectric barrier discharge, microdischarge, plasma-chemical generator, surface film, silicon-containing film.

References

1. V. G. Samoilovich, V. I. Gibalov, and K. V. Kozlov. *Physical Chemistry of the Barrier Discharge* (MGU, Moscow, 1989) [in Russian].
2. V. V. Andreev, A. N. Matyunin, and Yu. P. Pichugin, *Prikladnaya Fizika*, No. 3, 39 (2014).
3. V. V. Andreev, A. N. Matyunin, Yu. P. Pichugin, et al., *Vopr. Atom. Nauki. Ser. Termoyad. Sintez.*, No. 4, 112 (2011).
4. V. P. Tabakov, *Formation of Anti-Wear Coating of the Cutting Tool* (Mashinostr., Moscow, 2008) [in Russian].
5. A. D. Pogrebnyak and Yu. N. Tyurin, *Usp. Phys.* **175**, 515 (2005).
6. A. D. Pogrebnyak, S. B. Kislitsin, F. F. Komarov, et al., *J. Surf. Invest.*, No. 1, 96 (2009).
7. V. V. Kudinov, I. K. Krylov, I. Sh. Abdulin, et al., *Inorganic Materials: Applied Research*, **3**, 257 (2012).
8. N. K. Skripnikova, V. I. Otmakhov, and O. G. Volokitin, *Steklo i Keramika*, No. 1, 19 (2010).
9. V. V. Kachala, L. L. Khemchyan, A. S. Kashin, et al., *Usp. Chem.* **82**, 648 (2013).
10. A. S. Kashin and V. P. Anannikov, *Bull. Russ. Acad. Sci.: Chem.*, No. 12, 2551 (2011).