

3. Долгоживущие активированные структуры в областях, прилегающих к поверхности электродов.

Именно они и наделяют анолит и католит чрезвычайными каталитическими способностями, позволяя им (католиту и анолиту) изменить активационные барьеры между взаимодействующими компонентами.

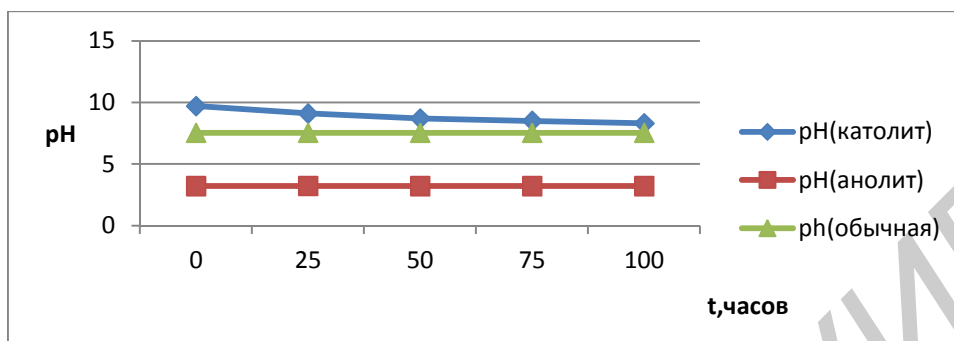


Рисунок 1 – График зависимости анолита и католита от времени t.

Из рисунка 1 видно, что анолит стабилен по pH во времени и сохраняет свои свойства в течении времени от 0 до 100 часов. В то же время у католита наблюдается существенный временной дрейф, pH уменьшилось почти на 2 единицы.

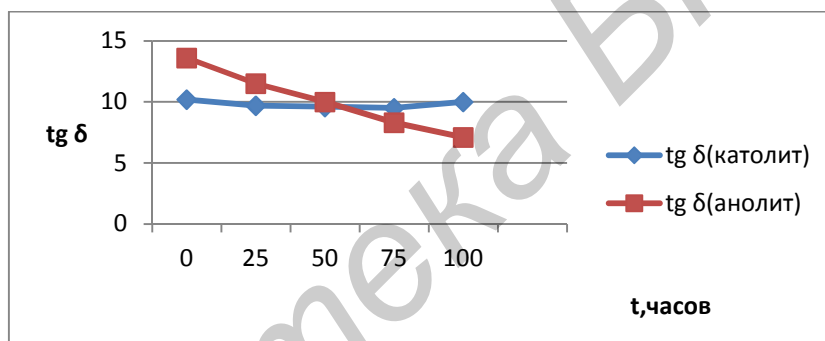


Рисунок 2 – График зависимости tg delta от времени при частоте f=10kHz.

Также установлено, что у католита тангенс диэлектрических потерь стабилен от 0 до 100 часов. Анолит при этом значительно уменьшил свое значение тангенса от 14 единиц при 0 часов, до 7 единиц при 100 часов. Вопрос, почему так происходит, находится на стадии изучения, и в скором времени мы надеемся дать ответ.

## ПОЛУЧЕНИЕ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПЛЕНОК НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ДИОКСИДА ТИТАНА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Панцулая Ш.Н.

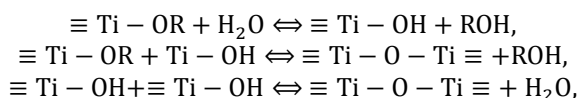
Петрович В.А. – доцент, канд. физ.-мат. наук

Образцы диоксида титана создавались по золь-гель методу. Для создания золя использовались этиловый спирт ( $C_2H_5OH$ ) и бутанол-1 ( $C_4H_9OH$ ). Смешивались в соотношении 1:1 по 3,7 г каждый. После чего в раствор добавляли 0,166 г ацетилацетона ( $C_5H_8O_2$ ). Далее, раствор перемешивали на протяжении 5 минут при скорости 500 оборотов в минуту. После чего, не останавливая перемешивание, по каплям добавляли 0,788 г тетраизопророксида титана ( $C_{12}H_{28}O_4Ti$ ), ждали 15 минут и добавляли 0,1 г дистиллированной воды. После 20 минут перемешивания в золь добавлялся порошок  $TiO_2$ . Было подготовлено 3 раствора золь с

микроструктурированным, наноструктурированным и смесью (1:1) порошков TiO<sub>2</sub>, каждый 8% от массы раствора.

В качестве подложки использовался предварительно очищенный алюминий 15x10 мм. Алюминий окунался в раствор соответствующего золь на 1 минуту, после чего происходила сушка в печи при 200 °С в течении 3 минут. Таким образом было нанесено 3 слоя, после чего образцы отправились на отжиг при 500 °С в течении 30 минут в муфельной печи.

При погружении в золь на поверхности алюминия происходят следующие последовательные реакции:



где R – C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>.

Измерения емкостных характеристик проводились на различных контактах образцов. Измерения проводились при частоте 10 кГц, измерительном напряжении 40 мВ и 0 В напряжении смещения при комнатной температуре. При этом необходимо отметить обязательное использование чехла от электромагнитных излучений, поскольку предварительные расчеты показали емкости порядка сотен пФ, то даже обычное фоновое электромагнитное излучение будет создавать значительную погрешность при измерениях. Результаты измерений занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Емкостные характеристики пленок диоксида титана

Номер контакта	Cp, пФ	Cs, пФ	Rs, кОм	Rp, МОм	Q	D
1	208	210	5	1,2	15,5	0,065
2	133	132	8,3	1,61	15	0,065
3	253	253	2,9	1,27	21	0,045
4	309	308	3,27	78	15,5	0,064
5	156	157	7,19	1,4	14	0,07
6	264	267	4	950	15	0,07
7	150	179	385	2,73	2,3	0,43
8	173	210	353	1,86	2	0,5
9	154	187	370	2,37	2,27	0,43
10	99	112	513	4,5	2,71	0,35
11	123	143	467	2,99	2,31	0,43
12	400	490	119	1,28	2,7	0,37
13	422	510	121	1	2,5	0,39
14	233	270	200	2,16	2,9	0,33
15	227	259	190	2,4	3,7	0,31
16	342	298	158	1,7	2,86	0,34
17	269	311	167	1,9	2,9	0,33

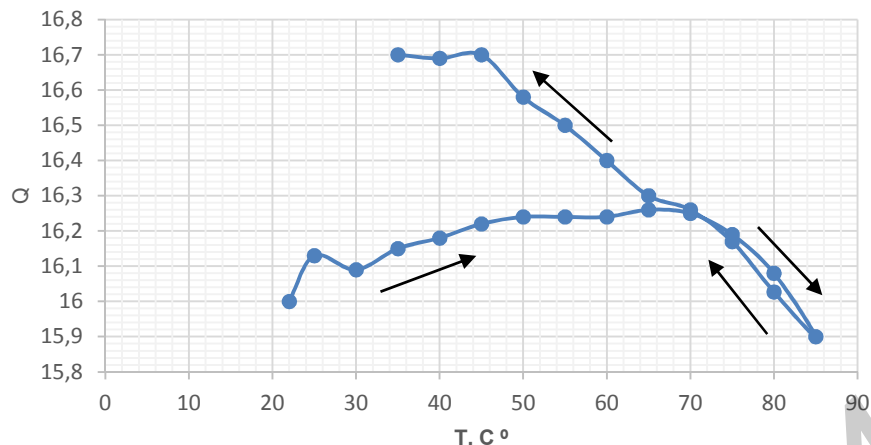
В таблице 1 D – тангенс угла диэлектрических потерь; Cp, Rp и Cs, Rs – соответственно, емкость и сопротивление при параллельной и последовательной эквивалентных схемах измерения; Q – добротность.

Для измерения зависимости добротности от температуры использовалась металлическая спираль, которая нагревалась до 85 °С за 2 часа. Исследования проводились на микроструктурированном образце на контакте 1 при подаваемой мощности 30 Вт и частоте 10 кГц. Полученные результаты изображены на рисунке 1.

Из рисунка видно присутствие гистерезиса, что объясняется краевыми эффектами – десорбцией на границе раздела диоксид титана/алюминий, для уменьшения краевых эффектов возможно применение охранного кольца. К тому же на присутствие гистерезиса так же влияет разница в погрешностях и измерениях при нагреве и охлаждении, как было сказано ранее.

После этого было найдено практическое пробивное напряжение Uпроб, которое составило 6-8 В в зависимости от образца и контакта.

Добротность данных образцов довольно низкая для использования в качестве конденсаторов, соответственно, необходимо улучшение технологии производства образцов и дополнительные исследования.



В качестве улучшения для золь-гель технологии возможно использование электрофореза для уменьшения количества шагов, и, соответственно, количества дефектов в диоксиде титана. Возможно также изменять поверхностную вязкость золя приложением потенциала. После улучшения технологии осаждения диоксида титана необходимо проведение дополнительных исследований новых образцов.

## ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ

В. П. Гаронин<sup>а)</sup>, А. А. Степанов<sup>а)</sup>, С. А. Филатов<sup>б)</sup>

<sup>а)</sup> *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>б)</sup> *Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время в микроэлектронной промышленности широко используются методы субтрактивного производства. В процессе данного производства довольно большое количество полупроводниковых материалов удаляются с подложки для формирования активных элементов микросхемы[1]. Появление и возможности трехмерной печати позволят снизить эти потери и перейти к аддитивному производству в микроэлектронной промышленности[2].

В докладе были озвучены возможности аддитивного производства и трехмерной печати в микроэлектронной промышленности. Преимущества трехмерной печати:

- Использование меньшего количества материала;
- Быстрое прототипирование микроэлектронных изделий;
- Быстрое создание мелкосерийных изделий[3].

Трехмерная печать позволяет печатать различными материалами, что уже сейчас может использоваться для создания приборов и устройств электроники, в том числе на гибких подложках[4]. Так же развитие трехмерной печати позволит быстрое создание моделей и опытных образцов изделий, что так же скажется на скорости и качестве разработки микроэлектронных устройств.

### Литература

1. Scotten W. Jones, Introduction to Integrated Circuit Technology : Textbook / ICKnowledge LCC. – Georgetown, MA, 2012.
2. 3D-printed microelectronics for integrated circuitry and passive wireless sensors : Article / Sung-Yueh Wu, Chen Yang, Wensyang Hsu [ & others] // Nature. – 2015.– July.– 20.
3. 3dtoday [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://3dtoday.ru/>.
4. Hiroki Ota, Sam Emaminejad, Yuji Gao, Application of 3D Printing for Smart Objects with Embedded Electronic Sensors and Systems / Esther Levy // Advanced Materials Technologies – April 2016.