

5. Gur A., Koca I., Karagullu H. et al Comparison of the Efficacy of Ultrasound and Extracorporeal Shock Wave Therapies in Patients with Myofascial Pain Syndrome: A Randomized Controlled Study // Journal of Musculoskeletal Pain. – 2013. – Vol. 21. – P. 210-216.
6. ГавааЛувсан. Традиционные и современные аспекты восточной медицины. – М., АО «Московские учебники и Картолиитография». – 2000. – 400с.

УДК 539.232

УСТОЙЧИВОСТЬ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ К ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЯМ

С.А. БИРАН, Д.А. КОРОТКЕВИЧ, А.В. КОРОТКЕВИЧ, В.А. ПЛЕШКИН

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Аннотация. Проведены исследования влияния ионизирующих излучений на конденсаторные структуры на основе анодного оксида алюминия. В качестве образцов для исследования использовали алюминиевую подложку, покрытую диэлектрическим слоем оксида алюминия, на поверхности которого магнетронным распылением сформирована верхняя обкладка конденсатора из алюминия. Установлены зависимости емкости и диэлектрических потерь конденсаторных структур от дозы и типа излучения.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, анодный оксид алюминия, анодирование.

Abstract. Effects of ionizing radiation on capacitor structures based on anodic alumina are investigated. The samples used for the research: aluminum substrate coated with a dielectric layer of aluminum oxide on the surface of which is formed by magnetron sputtering upper plate of capacitor. Relations of capacitance and dielectric losses of capacitor structures on the dose and types of radiation are established.

Keywords: ionizing radiation, anodic alumina, anodizing

Введение

В настоящее время в медицине находят широкое применения приборы, содержащие в своей конструкции различные источники ионизирующих излучений. Поэтому важным аспектом при разработке медицинского оборудования является использование материалов устойчивых к ионизирующим излучениям.

Механические и электрические свойства диэлектрических материалов сильно зависят от дозы и типа ионизирующего излучения. После облучения во всех материалах наблюдается образование радиационно-стимулированных дефектов структуры, из-за чего возрастает проводимость, и, следовательно, наблюдается рост величины тангенса угла диэлектрических потерь. Последнее сильно зависит от температуры, концентрации примесей и дефектов, структуры диэлектрика и вида поляризации [1].

Методика исследования

Образцы для исследования представляли собой конденсаторные структуры Al-Al₂O₃-Al. В качестве основания использовали подложку из алюминия марки А0 толщиной 1 мм покрытой слоем оксида толщиной 50 мкм, верхний слой – алюминиевая плёнка толщиной 1 мкм. Оксидные плёнки получали путём электролитического анодирования алюминия. Анодирование подложек проводили в растворе на основе щавелевой кислоты в гальваностатическом режиме при плотности тока 20 мА/см² и температуре электролита 20⁰С. В процессе электрохимического окисления подготовки находились в постоянном движении. Верхнюю плёнку алюминия формировали путём магнетронного распыления.

При помощи измерителя Е7-12 на полученных образцах производили исследование зависимости емкости и тангенса угла диэлектрических потерь от температуры. Измерение проводили в гелиевом криостате, диапазон температур составил от 4,2 до 300 К. Снятие характеристик проводили до и после облучения конденсаторных структур различными типами ионизирующих излучений. [2].

Экспериментальная часть и результаты

В качестве источника γ -излучения использовали изотоп Со⁶⁰ (энергия 1,3 МэВ). Суммарная доза после первого облучения составила $D_1 \approx 2 \cdot 10^{17}$ см⁻², после второго – $D_2 \approx 1 \cdot 10^{18}$ см⁻². После каждого облучения производили снятие зависимости емкости и тангенса угла диэлектрических потерь от температуры. На рисунке 1 представлены графики температурной зависимости электри-

ческой емкости и тангенса угла диэлектрических потерь в интервале температуры от 4,2 до 300 К для исследуемых образцов до и после облучения γ -квантами.

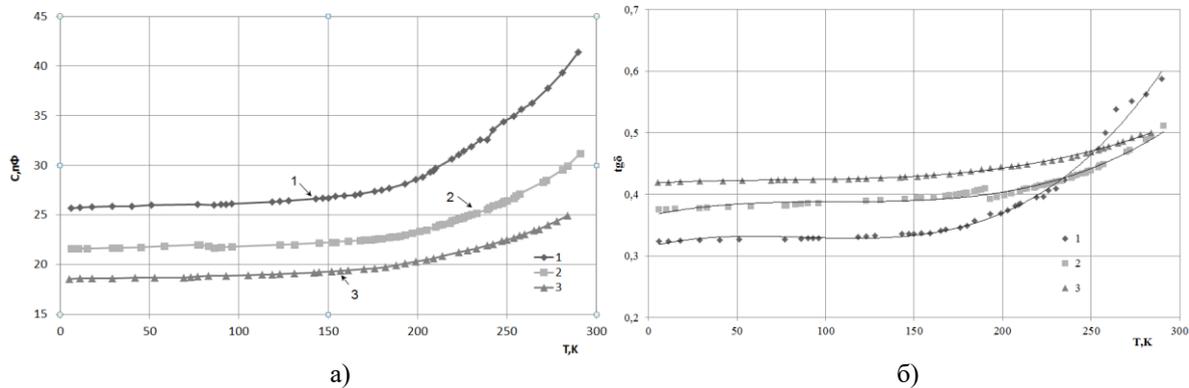


Рис. 1. Графики температурной зависимости электрической емкости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) для: 1 – необлученных, 2 - облученных γ -квантами дозой $D_1 \approx 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, 3 – облученных γ -квантами дозой $D_2 \approx 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$

Из графиков на рисунке 1 видно, что после облучения величина емкости уменьшается на 20% во всём температурном диапазоне. Это может быть вызвано изменением диэлектрической проницаемости слоя анодного оксида алюминия, вследствие образования внутри диэлектрика радиационно-стимулированных центров, что привело к уменьшению поляризуемости. При температуре ниже 150 К величина диэлектрических потерь после первого облучения возрастает на 20%, а после второго на 30% относительно необлучённых образцов. При увеличении температуры доза облучения начинает слабо влиять на величину тангенса угла диэлектрических потерь.

В качестве источника α -частиц использовали ^{239}Pu (энергия 5 МэВ). Суммарная доза после первого облучения составила $D \approx 3,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, после второго $D \approx 6,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. После каждого облучения производили снятие зависимости емкости и тангенса угла диэлектрических потерь от температуры. На рисунке 2 представлены графики температурной зависимости электрической емкости и тангенса угла диэлектрических потерь в интервале температуры от 4,2 до 300 К для исследуемых образцов до и после облучения α -частицами.

Из графиков на рисунке 2 видно, что после первого облучения величина емкости меняется незначительно, а после второго облучения возрастает на 30%. Это свидетельствует об увеличении диэлектрической проницаемости слоя анодного оксида алюминия, вследствие накопления радиационно-индуцированного избыточного заряда на дефектах. У величины тангенса угла диэлектрических потерь наблюдается схожая зависимость: после первого облучения она практически не изменяется, после второго облучения увеличивается на 0,06 во всём температурном диапазоне.

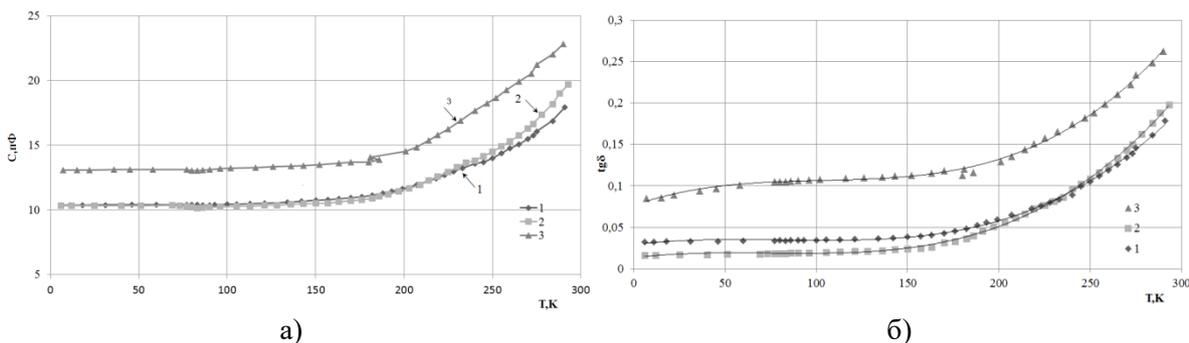


Рис. 2. Графики температурной зависимости электрической емкости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) для: 1 – необлученных, 2 - облученных α -частицами дозой $3,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, 3 – облученных α -частицами дозой $6,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$

В качестве β -излучения использовали поток электронов с энергией 4 МэВ. Суммарная доза после облучения составила $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. На рисунке 3 представлены графики температурной зависимости электрической емкости и тангенса угла диэлектрических потерь в интервале температуры от 4,2 до 300 К для исследуемых образцов до и после облучения электронами.

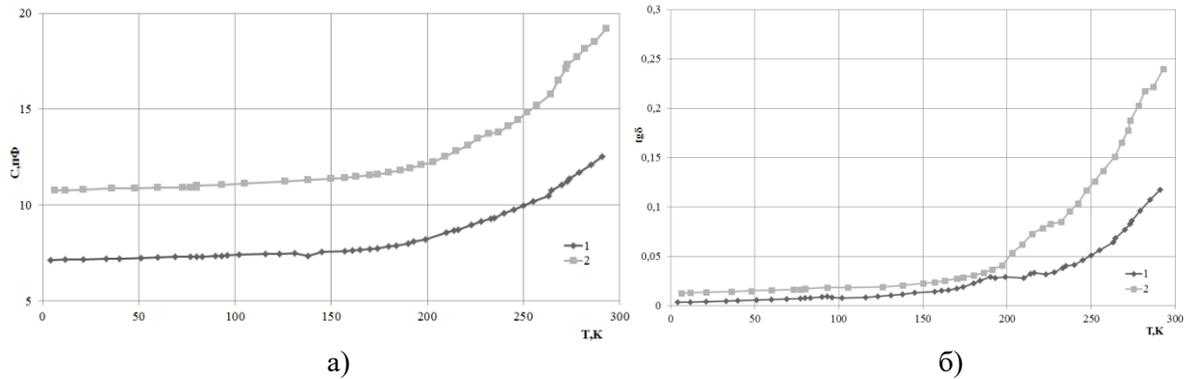


Рис. 3. Графики температурной зависимости электрической емкости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) для:

1 – необлученных, 2 - облученных электронами дозой $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$

Из графиков на рисунке 3 видно, что после облучения величина емкости увеличивается в среднем на 6 пФ, максимальное различие наблюдается при комнатной температуре. Температурная зависимость емкости облученных и необлученных образцов имеет одинаковый вид, что свидетельствует об отсутствии существенных изменений в структуре исследованных диэлектрических слоев. Температурная зависимость $\text{tg}\delta$ схожа с зависимостями, представленными ранее, для которых характерно плавное уменьшение величины при уменьшении температуры и стремление к постоянной величине при очень низких температурах, что характерно для керамических материалов, внутренняя структура которых не претерпевает коренных изменений. Увеличение тангенса угла диэлектрических потерь после облучения свидетельствует о появлении радиационных дефектов в структуре диэлектрика, вследствие чего возрастает проводимость.

Заключение

Облучение γ -квантами приводит к уменьшению величины диэлектрической проницаемости, вследствие чего уменьшается величина емкости конденсаторных структур на 20% при увеличении дозы облучения во всем диапазоне исследованных температур. Накопление радиационно-стимулированных дефектов в результате облучения γ -квантами способствует повышению диэлектрических потерь анодного оксида алюминия.

Облучение малыми дозами α -частиц приводит к незначительному увеличению как диэлектрических потерь, так и емкости исследованных образцов. Учитывая высокую ионизирующую способность α -частиц, их большую энергию (в нашем случае – 5 МэВ) можно сделать вывод, что конденсаторные структуры на основе анодного оксида алюминия обладают устойчивостью к α -излучению.

Облучение электронами с энергией 4 МэВ приводит к небольшому увеличению емкости и величины $\text{tg}\delta$. Учитывая это можно сделать вывод, что облучение электронами не вызывает ухудшение диэлектрических характеристик исследованных конденсаторных структур на основе анодного оксида алюминия.

Список литературы

1. Костюков, Н.С. ϵ и $\text{tg}\delta$ при облучении / Н.С. Костюков [и др.] // Диэлектрики и радиация/ под ред. Н.С. Костюкова. Книга 2. – М.: Наука, 2002. – С. 92–171.
2. Короткевич, А.В. Сопротивление тонкопленочных криорезисторов на подложках из анодированного алюминия / А.В. Короткевич, В.А. Плешкин, В.А. Сокол // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.- 1997, N2, С. 16-18.