

Вольт-амперные характеристики были исследованы в диодном включении при помощи измерителя характеристик полупроводниковых приборов Л2-56. Во время измерения образцы находились в вакуумной камере при остаточном давлении  $2,5-3,5 \cdot 10^{-5}$  Па.

На рисунке 2а приведены вольт-амперные характеристики лезвийных (1-4) и острых (5-6) структур. На рисунке 2б при напряжениях ниже 200 В вольт-амперные характеристики в координатах Фаулера-Нордгейма приближены к линейным, отклонение характеристик от прямой наблюдается в области высоких напряжений и токов, что может быть вызвано возникновением термоэмиссии [2].

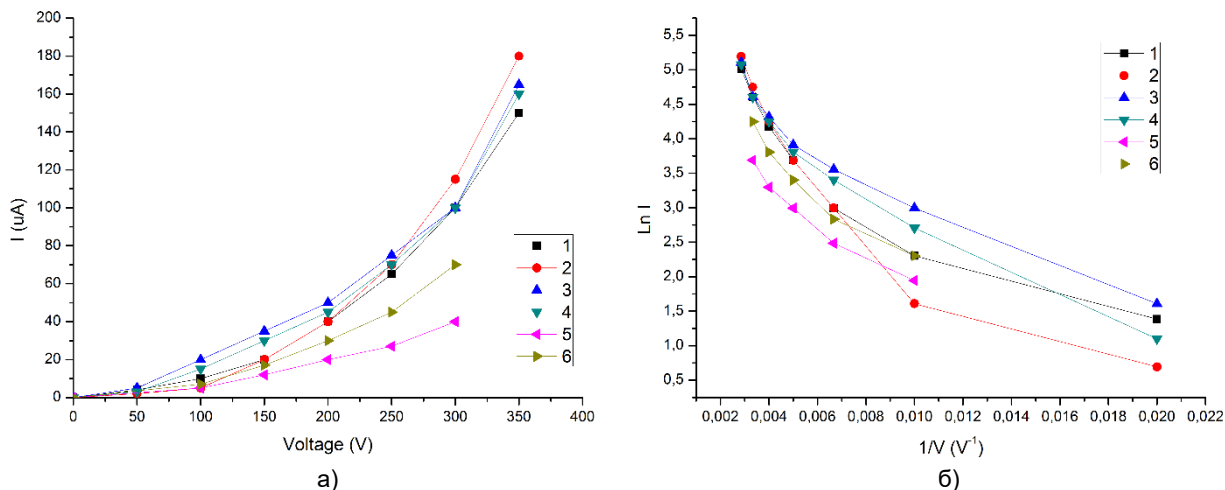


Рисунок 2 – Вольт-амперные характеристики: а) в обычных координатах; б) в координатах Фаулера-Нордгейма

**Список использованных источников:**

1. Кукуть, Ю. М. Метод получения субмикронных элементов в технологии лазерной бесшаблонной литографии / Ю. М. Кукуть // Радиотехника и электроника : материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23 - 27 апреля 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. - Минск, 2018. - С. 153.
2. Фурсей Г. Н. Автоэлектронная эмиссия / Г. Н. Фурсей. - Санкт-Петербург, 2012. - С. 19-23.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДНОЙ СТРУКТУРЫ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ

*Иванов К.В., Черепко М.А.*

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

*Лабунов В.А. - д-р. техн. наук, профессор*

Проведены исследования, относящиеся к формированию электродной структуры суперконденсатора, состоящей из аморфного углерода или многостенных углеродных нанотрубок в водном щелочном растворе, цель которых состояла в повышении поверхностного контакта углеродного материала с электролитом. Установлено, что адсорбция на поверхности электродного материала неионогенного поверхностно-активного вещества при использовании водного электролита с этим же веществом обеспечивает увеличение емкостных характеристик суперконденсатора.

В настоящее время изготовление суперконденсаторов (СК) рассматривается, как одно из перспективнейших направлений в развитии микро-наноэлектроники. Эти устройства обладают хорошими эксплуатационными характеристиками, в частности долгим срок службы и высокой скоростью зарядки-разрядки. Активным элементом промышленно выпускаемых СК является активированный углерод, обладающий электропроводностью и высоким значением удельной поверхности. В научной литературе в качестве альтернативы активированным углям для СК рассматриваются углеродные нанотрубки и графен [1, 2]. Графен является идеальным материалом для создания электродов в СК, так как обладает высокой удельной поверхностью и аномально высокой проводимостью. Препятствием к этому является термодинамическая его нестабильность, сильное ван-дер-ваальсово притяжение между его листами, а также высокая стоимость этого материала. Вследствие этого для обсуждаемого применения более целесообразно в настоящее время рассматривать применение углеродных нанотрубок, синтез которых осуществляется дешевым газофазным химическим способом, являющимся всеобщим и широко

используемым методом для массового получения этого материала. Однако при всем многообразии подходов к выбору углеродных материалов для СК большим препятствием в стремлении повышать емкостные характеристики этих устройств является низкая смачиваемость электродного материала водными электролитами, которые преимущественно используются в конструкциях перспективных СК. Это обусловлено диаметрально разными поверхностными свойствами этих составных частей СК. Исследования, проведенные в настоящей работе, осуществлены в двух направлениях: 1 – выявить влияние повышения поверхностной активности водного электролита по отношению к гидрофобному углеродному материалу на емкостные характеристики СК (традиционно используемый способ); 2 - выявить влияние на емкостные характеристики СК изменений поверхностных свойств одновременно электролита и электродного материала. Для выполнения этой работы были использованы углеродные материалы, широко используемые и изученные при конструировании СК, относящиеся к рангу коммерческих материалов: аморфный углерод и многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ). В качестве последних применены МУНТ фирмы Fibertax (Китай). Электролитом являлся 6М раствор гидроксида калия. В качестве поверхностно-активного реагента (ПАВ) в работе использован неионогенный изопропиловый спирт ( $C_3H_7OH$ ). К щелочному раствору его добавляли в соотношении (9ч электролит:1ч  $C_3H_7OH$ , V). Электродный материал обрабатывали в парах  $C_3H_7OH$ , либо пропитывали капельно. Циклические вольтамперограммы измеряли в окне потенциала  $\pm 1V$ , со скоростью развертки 0,1 В/с, число циклов 10-20.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что использованные углеродные материалы, на поверхности которых адсорбировали ПАВ, обработкой в парах реагента, имели приблизительно в 2-5 раз более высокие значения емкости, чем после капельного его внесения, но это наблюдалось только при использовании электролита с ПАВ. При этом, более высокие емкостные характеристики имели СК с МУНТ.

Таким образом, формирование развитых адсорбционных слоев на поверхности электродных материалов способствует повышению емкостных характеристик СК, что будет учитываться при дальнейших исследованиях, посвященных получению эффективных устройств данного типа.

**Список использованных источников:**

1. Borenstein A. Carbon-based composite materials for supercapacitor electrodes: review / Borenstein A, Hanna O., Attaias R., Luski Sh., Brouse Th., Aurbach D. // J.Mater.Chem.A. – 2012. – Vol.5. – P. 12653-12673.
2. Gomaa A.M.Ali. Structural and Electrochemical Characteristics of Graphene nanosheets as Supercapacitor electrodes / Gomaa A.M.Ali., Salah A.M., Mashitah M.Ju., Kwok F.Ch. // Rev.Adv.Mater.Sci. – 2015. – Vol.41. – P. 35-43.

## **ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПЛАТЫ НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Лушпа Н.В., Динь Х.Т.*

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

*Чернякова Е.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент*

В статье представлены результаты изучения влияние тока, протекающего через светодиод, на температуру кристалла и распределение температур на поверхности платы из FR4 и платы на основе алюминия с нанопористым анодным оксидом алюминия.

Известно, что КПД мощных светодиодов на порядок выше, чем у ламп накаливания. В тоже время, большая часть энергии, потребляемой светодиодами (около 75%), уходит на тепловые потери. Поэтому обеспечение эффективного теплоотвода в светодиодном модуле – одна из актуальных задач современной светодиодной промышленности [1-3].

В эксперименте использовали светодиодные модули, изготовленные из FR4 и алюминия со слоем нанопористого анодного оксида алюминия. При одинаковой мощности светодиода (3,48 Вт) на плате из FR4 кристалл нагревался до критической температуры в 130 °С за 271 с (рисунок 1). Дальнейший нагрев мог привести к выходу светодиода из строя, поэтому подачу напряжения на плату прекращали. Контактная площадка дорожки металлизации нагрелась до 82 °С, а сама плата до 47 °С. Следовательно, плата из стеклотекстолита FR4 не способна обеспечить теплоотвод, достаточный для стабильной работы мощного светодиода.