

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ НА ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ЗАЩИТНЫЕ СТЕКЛА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ГОРЯЧЕЙ МАГНИТОСФЕРНОЙ ПЛАЗМОЙ

Н.Е. Маслякова<sup>1</sup>, Л.С. Гаценко<sup>1</sup>, Л.С. Новиков<sup>2</sup>, М.С. Самохина<sup>2</sup>,  
В.В. Ханкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «НПП «Квант»; <sup>2</sup>НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ  
E-mail: natalia.maslyakova@gmail.com

Ранее проведенные исследования воздействия горячей магнитосферной плазмы на кремниевые солнечные батареи (СБ) показали, что при их электризации возникают электростатические разряды (ЭСР), которые при определенных условиях приводят к снижению мощности СБ [1]. Однако в связи с разработкой СБ нового поколения на основе трехпереходных фотопреобразователей с гетеронаноструктурой InGaP/InGaAs/Ge и применением усовершенствованной конструкции и новых наружных диэлектрических материалов возникла необходимость провести комплекс исследований по влиянию поверхностных ЭСР на параметры трехпереходных фотопреобразователей и некоторых диэлектрических материалов.

Данная работа посвящена исследованию условий возникновения поверхностных ЭСР при облучении электронами горячей магнитосферной плазмы и их влияния на параметры фотопреобразователей, фрагментов СБ и защитных стекол.

Для моделирования процесса воздействия горячей магнитосферной плазмы использовалась специально созданная лабораторная установка, обеспечивающая облучение образцов потоками электронов с энергиями 10-50 кэВ [2]. В качестве объектов для исследования были выбраны отдельные защитные стеклянные пластины двух типов, а также фрагмент СБ.

## **Защитные стеклянные пластины**

Исследование влияния горячей магнитосферной плазмы на свойства защитных стекол СБ проводилось для пластин, изготовленных из стекла К-208 толщиной 130 мкм и стекла СМГ толщиной 100 мкм [2]. Надо отметить, что стеклянные пластины второго типа начали применяться сравнительно недавно для защиты СБ на основе трехпереходных фотопреобразователей, поэтому ранее не проводилось их тщательного изучения.

До эксперимента было проведено микроскопическое исследование пластин. Оно показало наличие дефектов на поверхности стекла К-208, которые, вероятно, способны снизить стойкость стеклянных пластин данного типа к различным видам воздействий. Для стекла СМГ видимых отклонений не было обнаружено.

Отдельные образцы, закрепленные на металлической подложке в вакуумной камере, облучались моноэнергетическими потоками электронов с энергией 30 кэВ.

В ходе эксперимента был выявлен порог возникновения разрядов в стеклянных пластинах по плотности тока. Для стекла К-208 он составил  $\sim 5\text{--}13,5 \text{ нА/см}^2$ , а для стекла СМГ  $\sim 20\text{--}56 \text{ нА/см}^2$ . Такая разница в значениях объясняется более высокой собственной проводимостью стекла СМГ и более совершенной структурой по сравнению со стеклом К-208. Частота следования разрядов в пороговой области значений плотности тока для обоих типов стекла была в пределах  $10^{-2}\text{--}10^{-1}$  Гц. При увеличении плотности тока она возрастала до 1-5 Гц. Например, для стекла К-208 средний период следования разрядов составлял около 2 с при плотности тока  $\sim 30 \text{ нА/см}^2$  и незначительно снижался (до  $\sim 0,5$  с) при дальнейшем увеличении тока до  $100\text{--}200 \text{ нА/см}^2$ .

Амплитуда разрядных импульсов, зарегистрированных в ходе эксперимента на нагрузочном сопротивлении 50 Ом, составляла от 35,3 до 61,8 В, длительность разрядных импульсов колебалась от 4 до 8 мкс (рис. 1).

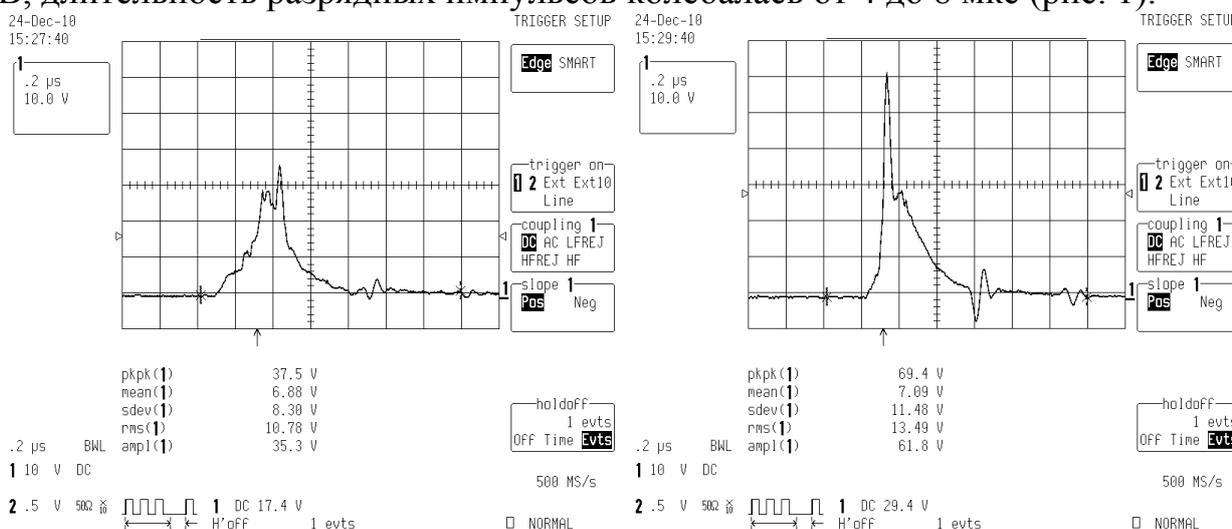
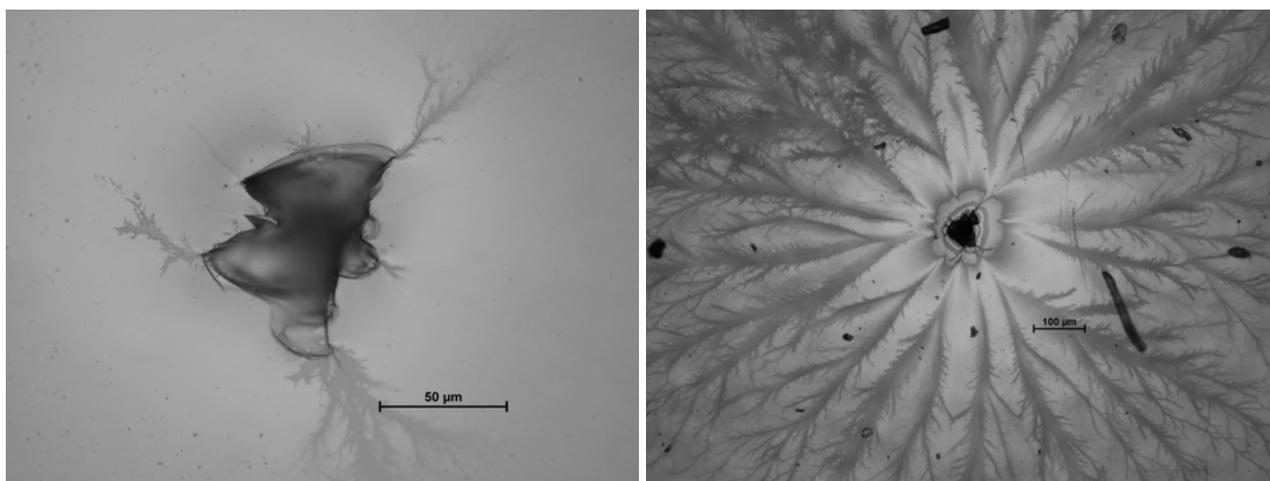


Рис. 1. Характеристики разрядных импульсов

Микроскопическое исследование облученных защитных стеклянных пластин выявило разную структуру разрядных каналов для различных типов стекла. Для стекла К-208 (рис. 2а) характерны редкие, отдельно расположенные центральные каналы, иногда окруженные небольшими по площади фигурами каналов, параллельных поверхностям пластины и лежащих на глубине пробега электронов. Для стекла СМГ (рис. 2б), как правило, наблюдалась разветвленная сеть горизонтальных каналов, выходящих на поверхность через центральный разрядный канал. Причем на некоторых образцах были обнаружены группы из нескольких близко расположенных центральных каналов.

Несмотря на видимые изменения структуры стеклянных пластин, их оптические свойства изменились незначительно. В результате эксперимента коэффициент пропускания стекла К-208 снизился лишь на 2%, а для стекла СМГ его изменение составило менее 1%.



а б  
Рис. 2. Разрядные каналы в стекле К-208 (а) и СМГ (б)

Отдельной задачей являлось определение зависимости частоты следования разрядов от температуры. В эксперименте исследовались образцы стеклянных пластин размером 20x20 мм, изготовленные из стекол К-208 и СМГ. Энергия потока первичных электронов составляла  $E_e = 25$  кэВ, плотность тока  $J = 100$  нА/см<sup>2</sup>.

Для образцов из стекла К-208 частота разрядов  $f$  плавно уменьшалась от 0,07 Гц до 0,03 Гц при увеличении температуры с 27 °С до 60 °С, а затем, при 70 °С, резко падала до 0,003 Гц. Дальнейшее нагревание до 100 °С не приводило к изменению частоты разрядов. Для образцов из стекла СМГ в интервале температур 27-90 °С частота разрядов  $f$  была постоянной, причем примерно в 2 раза меньшей, чем для стекла К-208 в тех же условиях. Резкое падение  $f$  наблюдалось только при 90 °С.

Различие в зависимостях частоты следования разрядов от температуры двух типов стекол можно объяснить более высокой собственной проводимостью стекла СМГ по сравнению со стеклом К-208.

Таким образом, стекло СМГ более желательно для использования в качестве защиты фотопреобразователей СБ в условиях космоса, где средняя рабочая температура батареи составляет около 50 °С.

Было обнаружено, что понижение температуры образцов до -60 °С увеличивает частоту следования разрядов, не оказывая при этом существенного влияния на их амплитуду и длительность.

### **Фрагмент СБ**

Фрагмент СБ представлял собой сборку из двух трехпереходных фотопреобразователей и диодного блока, закрепленных на каркасе. На лицевую и тыльную стороны фотопреобразователей в сборке были наклеены защитные стеклянные пластины из стекла СМГ и К-208 соответственно.

На рис. 3 показан фрагмент СБ в камере установки во время эксперимента. Образец облучался пучком электронов с энергией 50 кэВ и плотностью тока порядка 100 нА/см<sup>2</sup>.

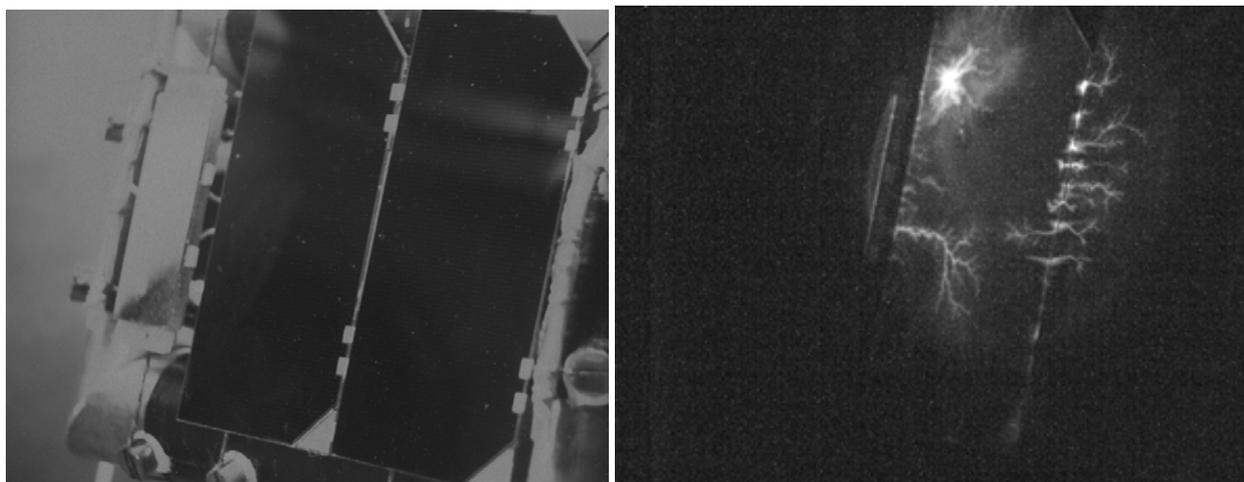


Рис. 3 Фрагмент СБ в процессе облучения

Разряды в образце, как видно на фотографии, возникали между поверхностью стеклянных пластин и металлическими частями сборки. Локализация ЭСР на краях фотопреобразователей в сборке обусловила снижение количества разрядов в их центральной части по сравнению с отдельно облучаемыми образцами [2].

Измерение основных электрических характеристик после облучения показало, что для фрагмента СБ ухудшился только рабочий ток, остальные же параметры батареи изменились незначительно.

Для более глубокого понимания причин ухудшения рабочего тока было принято решение разобрать фрагмент СБ и далее исследовать оба отдельных фотопреобразователя.

Микроскопическое исследование поверхности фотопреобразователей не выявило видимых изменений лицевого защитного стекла первого фотопреобразователя. На втором же были обнаружены следы разрядов – сеть горизонтальных каналов и один центральный разрядный канал (рис. 4)

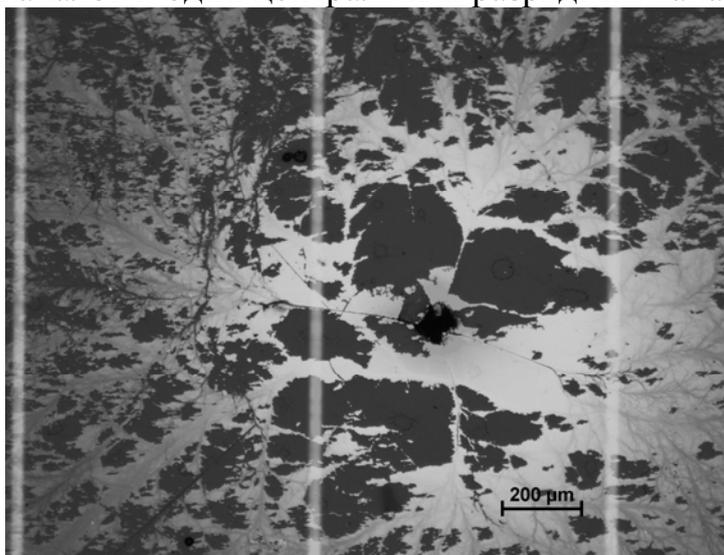


Рис. 4 Микрофотография лицевой стороны фотопреобразователя

Вольт-амперные характеристики показали, что ток короткого замыкания и напряжение холостого хода обоих фотопреобразователей изменились

незначительно. При этом изменение рабочего тока при рабочем напряжении 1,9 В составило 1,5 и 6 % соответственно.

При изучении спектральных характеристик фотопреобразователей (рис. 5), было определено, что изменение рабочего тока произошло в основном вследствие ухудшения качества третьего (германиевого) перехода под действием ЭСР.

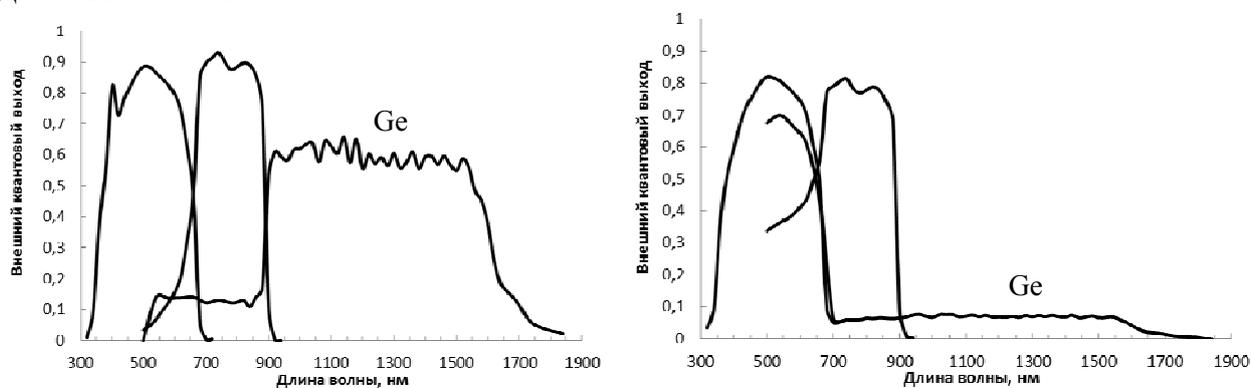


Рис. 5. Спектральные характеристики облученных фотопреобразователей

### Выводы

По результатам эксперимента, направленного на изучение воздействия горячей магнитосферной плазмы на образцы защитных стеклянных пластин и фрагментов СБ, были определены условия возникновения поверхностных ЭСР, а также исследовано их влияние на свойства двух типов защитных стекол, параметры фрагмента СБ и его отдельных фотопреобразователей.

В ходе работы было определено, что порог возникновения разрядов для стекла К-208 составляет  $\sim 5\text{--}13,5$  нА/см<sup>2</sup>, для стекла СМГ  $\sim 20\text{--}56$  нА/см<sup>2</sup>. Также были выявлены зависимости частоты следования разрядов от плотности тока первичных электронов и от температуры образцов.

Исследование образцов стеклянных пластин после облучение показало, что оптические характеристики под действием ЭСР изменяются слабо. Коэффициенты пропускания стекол К-208 и СМГ снизились на 2 и 1% соответственно.

Для фрагмента СБ было обнаружено снижение рабочего тока после облучения, что объяснялось ухудшением качества германиевого перехода фотопреобразователей. При этом ток короткого замыкания и напряжение холостого хода в ходе эксперимента изменились несущественно.

1. Новиков Л.С. Взаимодействие космических аппаратов с окружающей плазмой. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2006, 120 с.
2. Маслякова Н.Е., Гаценко Л.С., Каган М.Б., Самохина М.С., Ханкин В.В., Новиков Л.С., Шведунов В.И. Влияние поверхностных электрических разрядов на характеристики трехпереходных фотопреобразователей на основе арсенида галлия. В кн.: Труды 2-й Всероссийской школы-семинара студентов, аспирантов и молодых ученых «Функциональные наноматериалы для космической техники». М.: МИЭМ, 2011, с. 98-103.