

Моделирование вольт-амперной характеристики кремниевого фотоэлектрического преобразователя после воздействия ионизирующего излучения космического пространства

Научный руководитель – Вагапова Наргиза Тухтамышевна

Феклистова Александра Аркадьевна

Студент (магистр)

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Институт новых материалов и нанотехнологий, Москва, Россия

E-mail: feklistova.sashaa@mail.ru

Первичным источником питания служебной аппаратуры космических аппаратов (КА) является солнечная батарея (СБ), которая для успешной реализации миссии должна генерировать требуемый уровень электроэнергии на протяжении всего срока активного существования (САС) КА. Характерной орбитой для эксплуатации малых КА является низкая околоземная орбита [Асташкин, 2021]. Соответственно СБ должна быть разработана таким образом, чтобы быть устойчивой к негативному воздействию факторов космического пространства на ней. Ввиду того, что отличительной особенностью КА является их низкая стоимость, малый САС (до 5 – 7 лет) и относительно небольшая мощность, то в качестве фотовосприимчивой электрогенерирующей части СБ целесообразно используются фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) на основе Si [Yamaguchi, 2001].

Известно, что вольт-амперная характеристика (ВАХ) является одной из ключевых выходных характеристик ФЭП и СБ, на базе которой можно получить все основные электрические параметры и оценить производительность разработанной конструкции. Именно поэтому целью работы является анализ и апробация методики прогнозирования ВАХ ФЭП р-типа на основе с-Si с пассивированным эмиттером на тыльном контакте после облучения электронами с энергией 1 МэВ.

Моделирование кривых деградации основывалось на предположении, что на величину диффузионной длины неосновных носителей заряда (ННЗ) в базе и эмиттере ФЭП наибольшее влияние оказывает ионизирующее излучение при облучении электронами с энергией 1 МэВ в диапазоне флюенсов до 10^{15} см^{-2} , что по величине эквивалентно радиационным условиям эксплуатации СБ.

Полученные по методике [Феклистова, 2024] значения представлены на рисунке 1. эквивалентный флюенс для уровня воздействия электронов естественных радиационных поясов Земли на высоте орбиты 833 км за САС 5 лет

Из рисунка 1 видно, что U_{xx} изменяется более значительно, что связано с изменением тока утечки при образовании дефектов, в то время как I_{kz} практически не меняется из-за небольшой деградации диффузионной длины ННЗ в эмиттере. Изменения в базе также не существенны из-за особенностей конструкции ФЭП, которые фактически увеличивают эффективную диффузионную длину носителей заряда, что нивелирует значительное уменьшение рассчитанного значения диффузионной длины р-Si области. Также важно обратить внимание на то, что изначально запас диффузионной длины ННЗ в базе относительно ее толщины велик.

Учитывая все рассчитанные электрические параметры ФЭП, в настоящей работе была построена ВАХ ФЭП после облучения электронами с энергией 1 МэВ и флюенсом $6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, представленная на рисунке 2. Для апробации методики было проведено экспериментальное облучение ФЭП и замерена ВАХ. Сравнение расчетной и экспериментальной ВАХ ФЭП после облучения показало расхождение модели не более 5,3 %.

(Рисунок 1)

Источники и литература

1) Асташкин А. А., Карелин А. В., Комиссарова И. Н., Кузьмин Ю. А., Шувалов В. А., Яковлев А. А. Обзор орбитальных группировок космических аппаратов оперативного метеонаблюдения // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2021. Т. 181. №. 2. С. 24 – 55.

2) Yamaguchi M. Radiation-resistant solar cells for space use // Solar energy materials and solar cells, 2001, vol. 68, no. 1, pp. 31 – 53. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(00\)00344-5](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00344-5).

3) Феклистова А.А. Моделирование деградационных кривых электрических параметров облученных фотоэлектрических преобразователей на основе кремния / А.А. Феклистова, М.В. Рябцева, Е.С. Чуянова // Радиационная стойкость электронных систем "Стойкость-2024" : Тезисы докладов 27-й Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 04–05 июня 2024 года. – Лыткарино: Научно-исследовательский институт приборов, 2024. – С. 35-36.

Иллюстрации

Область ФЭП	Толщина, мкм	Концентрация, см ⁻³	До облучения				После облучения (Φ = 6·10 ¹³ см ⁻²)*			
			L, мкм	J _{кз} , мА/см ²	U _{хх} , В	P _{макс} , Вт	L, мкм	J _{кз} , мА/см ²	U _{хх} , В	P _{макс} , Вт
n-Si	0,4	1,1·10 ¹⁸	0,80	51,49	0,67	371	0,79	51,48	0,58	279
p-Si	170	7,8·10 ¹⁶	419				88			

Рис. : Значения физических параметров ФЭП до и после облучения электронами с энергией 1 МэВ

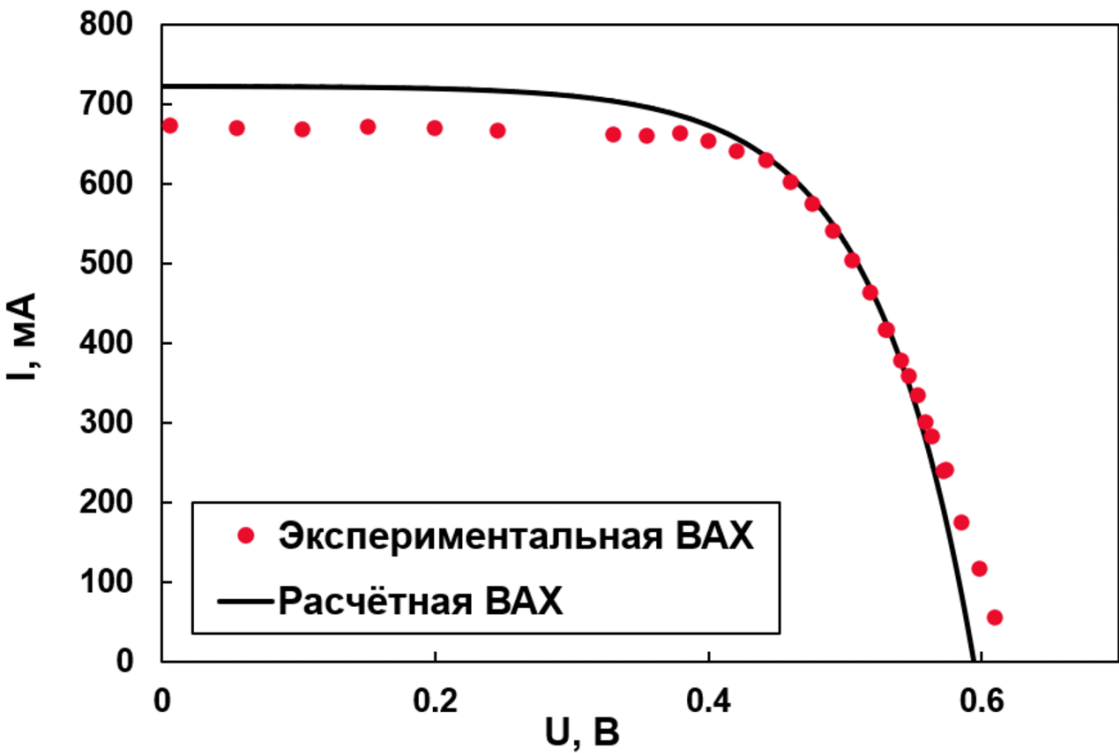


Рис. : ВАХ ФЭП на основе Si после облучения электронами с энергией 1 МэВ и флюенсом 6·10¹³ см⁻²