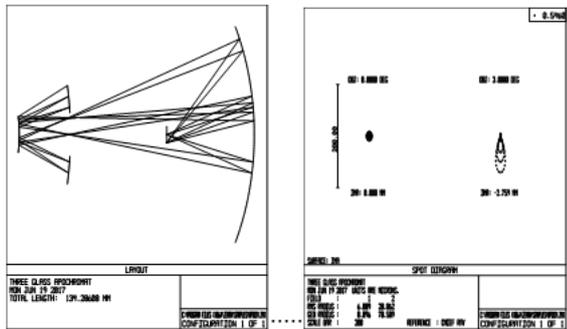


Таблица 1. Аберрации (расчеты в ППП Orpal)

m	Точка на оси			
	$\Delta S'$, мм	$\Delta Y'$, мм	η , %	2ω
1,0	-0,024	-0,008	-0,0750	2°
Точка вне оси ($2\omega=6^\circ$)				
	$'$, мм	$'$, мм	$\Delta Y'$, %	
1,0	0,013	-0,012	0,5	

Рисунок 2 – Двух мерное изображение хода лучей в схеме и диаграмма пятна рассеяния ($2\omega = 6^\circ$).

Высокие значения МТФ и функции концентрации энергии полученной светосильной системы при достаточно больших углах поля зрения обеспечиваются отсутствием хроматизма, что подтверждается компьютерными расчетами ВПП Zemax.

1. Максудов, Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики / Д.Д. Максудов. – М.: Наука, 1984. – 276 с.
2. Артюхина Н.К., Ключко Т. Р. Светосильный зеркальный объектив для дальнего инфракрасного диапазона // Материалы 4-й МНТК «Приборостроение 2011», г. Минск, 16–18.11.2011. – Минск: БНТУ, 2011. – С. 259 – 260.
3. Артюхина, Н.К. Теория, методы проектирования и расчет зеркальных систем: монография / Н.К. Артюхина. – Минск: БНТУ, 2009. – 309 с.
4. Артюхина Н.К.. Патент РБ № 17403 на изобретение «Зеркальный объектив»// Оф. бюл. Изобретения. Патентные модели. Промышленные образцы. – 2013. – № 4. – С. 165.
5. Артюхина Н. К., Тульева Н. Н. Трехзеркальный длиннофокусный объектив-анастигмат // Вести НАН Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2010. – № 4. – С. 93–99.

УДК 528.8; 629.78

МАЛОГАБАРИТНАЯ БОРТОВАЯ НАУЧНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ МЕТОДАМИ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Беляев Б.И., Домарацкий А.В., Казак А.А., Кучинский П.В., Станчик В.В.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем

имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета

Минск, Республика Беларусь

В НИИПФ им. А.Н. Севченко БГУ в рамках выполнения задания НТП СГ «Мониторинг-СГ» создан экспериментальный образец малогабаритной бортовой научной аппаратуры МБНА «Структура», предназначенной для регистрации в автономном режиме с борта микроспутника изображений и параметров излучений ночного и сумеречного свечения атмосферы, а также явлений, связанных с высотными электрическими разрядами и потоками заряженных частиц. Изучение закономерностей, физических механизмов и природы транзиентных и аномальных явлений и процессов в верхних слоях атмосферы на ночной стороне Земли, связанных с чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера, является одним из приоритетных направлений космической деятельности.

МБНА «Структура» позволит решать следующие задачи:

1) Экспериментально отработать метод оптической спектрометрии явлений верхней атмосферы.

2) Исследовать методом оптической спектрометрии явления, связанные с высотными электрическими разрядами и потоками заряженных

частиц: спрайты (высоты 45–100 км); джеты (высоты 20–50 км); вспышки, обусловленные высыпаниями заряженных частиц, транзиентами, эффектами воздействия радиоволн на ионосферу.

3) Исследовать ночные и сумеречные свечения атмосферы: пространственно–временной структуры первого эмиссионного слоя (свечения гидроксидов и кислорода на высотах ~ 100 км); пространственно–временной структуры второго эмиссионного слоя (на высотах ~ 300 км); пространственно–временной изменчивости гидроксильных свечений в диапазоне высот 80–105 км; пространственно–временной структуры и спектрального состава свечений областей полярных сияний; пространственно–временной структуры и спектрального состава излучений серебристых облаков в области мезопаузы на высотах 80–86 км.

В состав МБНА «Структура» входят следующие датчики:

– датчик изображений ДИ, предназначенный для получения панхроматического изображения слабых свечений в области 0,38–1,05 мкм достаточно высокого пространственного разрешения области атмосферы при появлении в поле зрения одного из исследуемых оптических явлений;

– датчик спектральных изображений ДСИ для получения высотных распределений спектров ночных свечений гидроксила и свечений, вызванных высотными электрическими разрядами, охватывает область спектра 0,4–0,9 мкм с высоким спектральным разрешением не менее $\Delta\lambda = 3,0$ нм;

– датчик высотных распределений свечений ДВРС-1 для регистрации пространственно-временных распределений атомарного кислорода на длине волны 556,9–557,9 нм на высотах 90 - 110 км в первом эмиссионном слое;

– датчик высотных распределений свечений ДВРС-2 для регистрации пространственно-временных распределений излучения второго эмиссионного слоя в линии кислорода на длине волны 629,5–630,5 нм на высоте 290–320 км.

Датчики снабжены блоком электроники БЭ, служащим для управления режимами работы, сжатия, записи и передачи данных. БЭ обеспечивает тестирование и управление режимами работы оптических датчиков МБНА, запись данных и служебной информации, взаимодействие МБНА с системами микроспутника.

Конструктивно все датчики МБНА размещены на общем кронштейне с параллельной ориентацией полей зрения. На рис. 1 представлен внешний вид МБНА и оптические схемы датчиков [1].

ДВРС-1 и ДВРС-2 выполнены в виде моноблоков. Между объективом и фотоприемной линейкой каждого датчика ДВРС устанавливается интерференционный светофильтр: 556,9–557,9 нм для ДВРС-1 (для регистрации зеленой линии атомарного кислорода на высотах около 100 км) и 629,5–630,5 нм для ДВРС-2 (для регистрации красной линии кислорода на высотах около 300 км).

ДСИ включает в себя полихроматор на базе вогнутой сферической дифракционной решетки с проекционным объективом. В качестве приемного элемента используется малоформатная матрица.

ДИ включает в себя высокочувствительную камеру на основе CMOS-матричного приемника и объектив.

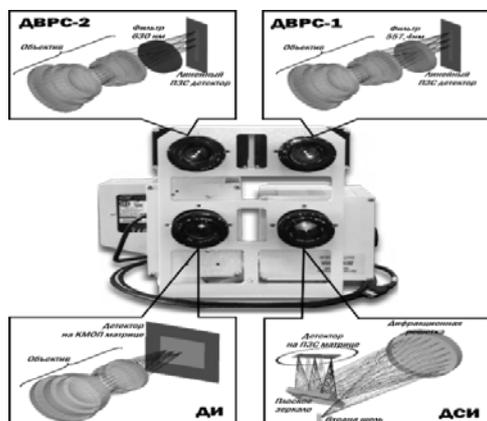


Рисунок 1 – Внешний вид МБНА «Структура» с оптическими схемами датчиков

Для управления МБНА разработана программа APKStruct.exe. Программа написана в среде Qt 5.5 с использованием языка C++ и работает под управлением операционной системы Windows 7. Программа APKStruct.exe состоит из взаимосвязанных и определенных общим пользовательским интерфейсом модулей (компонент), которые обеспечивают функционирование МБНА.

Управление модулями МБНА осуществляется по интерфейсу USB. Подключение модулей МБНА осуществляется в момент запуска программы, при этом на экране отображается основное окно программы (рис. 2).

Основное окно программы для регистрации данных МБНА представляет собой поле, поделенное на четыре подокна. Каждое подокно содержит модуль отображения данных, в который выводятся данные, получаемые с каждого модуля МБНА. Получаемые данные подписаны в соответствии с источником. Кроме отображения данных, модуль отображает режимы работы МБНА, параметры получаемых данных.

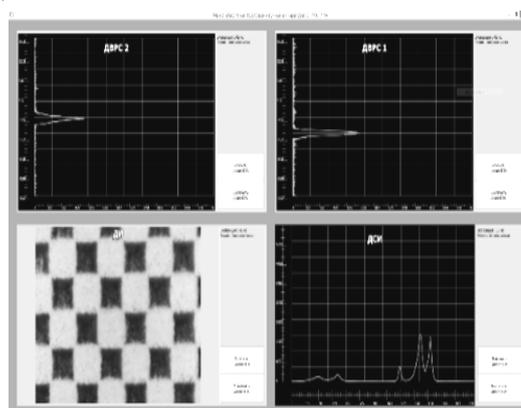


Рисунок 2 – Внешний вид основного окна программы



Рисунок 3 – КПА МБНА «Структура»

Для осуществления функциональной диагностики работоспособности МБНА на всех стадиях наземной отработки была изготовлена контрольно-поверочная аппаратура КПА (рис. 3).

КПА обеспечивает имитацию следующих оптических сигналов:

– пространственное распределение свечений зеленой линии первого эмиссионного слоя на длине волны 556,9–557,9 нм (контроль датчиком высотных распределений свечений ДВРС-1);

- пространственное распределение свечений второго эмиссионного слоя в красной линии кислорода на длине волны 629,5–630,5 нм (контроль датчиком высотных распределений свечений ДВРС-2);
- излучение на трех длинах волн в диапазоне 400–900 нм (контроль датчиком спектральных изображений ДСИ);
- излучение изображения тестовой миры.

УДК 621.383.534

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТООТКЛИКА СУБМИКРОННОГО КНИ-МОП-ТРАНЗИСТОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Борздов А.В., Борздов В.М.

*Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь*

Современные кремниевые полупроводниковые структуры и МОП-транзисторы являются перспективными оптоэлектронными приборами для использования в качестве детекторов излучения видимого и инфракрасного диапазонов, фототранзисторов и фотосенсоров [1–4]. При этом повышенный интерес к МОП-транзисторам обусловлен рядом причин, в частности возможностью простой интеграции таких приборов в интегральные схемы и их дальнейшей миниатюризацией, низким энергопотреблением и достаточно высокой чувствительностью при более низком уровне шумов по сравнению с лавинными фотодиодами. Относительно недавно продемонстрировано использование глубоко субмикронных интегральных МОП-транзисторов со структурой “кремний-на-изоляторе” (КНИ-МОП-транзисторов) в качестве детекторов излучения, работающих в режиме счета одиночных фотонов при комнатной температуре [5].

Для исследования рабочих характеристик фотодетекторов и фототранзисторов в течение достаточно длительного времени широко применяется самосогласованное моделирование на основе метода Монте-Карло. Преимуществом использования многочастичного метода МонтеКарло является возможность прослеживания траекторий движения носителей заряда в пространстве координат и импульсов при различных условиях, и расчет соответствующих функций распределения, плотностей заряда и напряженностей электрических полей, а также возможность непосредственного включения и учета различных процессов рассеяния и генерации носителей заряда в приборных структурах [6].

При исследовании рабочих характеристик фотодетекторов и фототранзисторов интерес представляет, в частности, время отклика фототока при воздействии импульса излучения определенной мощности и длительности, поскольку это время определяет быстродействие прибора. В настоящей работе проведено моделирование воздействия коротких импульсов лазерного излучения различной мощности на величину тока в канале субмикронного КНИ-МОП-транзистора. Объектом моделирования

При проведении испытаний МБНА устанавливается на общем кронштейне и юстируется с объективами и блендами КПА.

1. Beliaev, B. The multisensor payload «Structura» for the observation of atmospheric night glows from the ISS board / B. Beliaev, Y. Krot, L. Katkovsky // Proc. SPIE 10000, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XX, 100001U (October 19, 2016); doi:10.1117/12.2241791, Edinburgh, United Kingdom, October 19, 2016.

является КНИ-МОП-транзистор, сходный по структуре с исследованным в [5] в качестве однофотонного фотодетектора и аналогичный рассмотренному нами ранее в [7, 8]. Схематически сечение транзистора представлено на рисунке 1. Размеры моделируемых областей следующие: длина канала равна 100 нм, его толщина $W_c = 50$ нм, толщина подзатворного окисла – 5 нм, толщина скрытого окисла $W_b = 145$ нм, толщина подложки $W_{sub} = 200$ нм. Уровень легирования канала акцепторной примесью равен 10^{21} м^{-3} . Температура моделирования – 300 К.

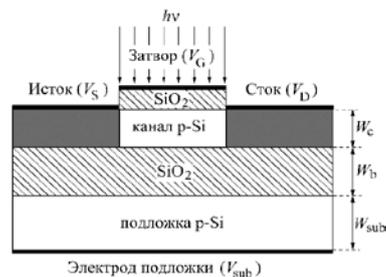


Рисунок 1 – Структура моделируемого КНИ-МОП-транзистора

Предполагалось, что лазерное излучение с длиной волны 532 нм направлено перпендикулярно плоскости затвора транзистора и охватывает только область канала. Длительность лазерного импульса равна 1 пс.

В качестве приближения мы полагали, что металлизация затвора достаточно тонкая, и ее можно считать прозрачной для используемого излучения. Коэффициент поглощения излучения в Si, а также оценка коэффициентов отражения на границах раздела Si-SiO₂ взяты на основании данных из [9, 10]. Напряжения на затворе V_G и подложке V_{sub} равны нулю. Все напряжения подавались относительно истока ($V_S = 0$).

На рисунке 2 в качестве примера приведены зависимости фототока в канале транзистора от времени при напряжении на стоке $V_D = 0,5$ В для различных интенсивностей излучения. Для рассматриваемого напряжения на стоке процессы ударной ионизации в канале транзистора не