

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МРП - СТРУКТУР

Технические характеристики систем связи, локализации, контроля и обработки информации во многом определяются используемыми в них оптоэлектронными приборами. Фотоприемники для этих систем должны обладать минимальными собственными шумами, высоким коэффициентом внутреннего усиления и быстродействием. Традиционно для этих целей используются ФЭУ и лавинные фотодиоды. Однако они имеют ряд недостатков, ограничивающих их применение. Одним из перспективных приемников оптического излучения, сочетающих достаточную пороговую чувствительность, высокий коэффициент внутреннего усиления фототока, низкие требования к стабилизации питающих напряжений и возможность интеграции для построения многоэлементных приемных систем, является лавинный фотоприемник на основе структур металл-резистивный слой-полупроводник (МРП) [1,2]. Сравнительно сложная технология их производства основана на ионно-плазменном осаждении резистивного слоя SiC на поверхность кремниевой подложки с проводимостью p-типа. На слой SiC путем термического испарения Ni в вакууме наносится полупрозрачный для света электрод. Омический контакт к образцу выполняется напылением слоя Al на обратную сторону кремниевой подложки. Для повышения эффективности лавинного умножения в МРП-структуре создается множество небольших по размерам p-n-переходов, включенных параллельно (рис.1). Стабильность характеристик такой структуры определяется свойствами резистивного слоя: величиной сквозной проводимости и соотношением между электронной и дырочной компонентами полного тока в слое SiC. Благодаря значительной проводимости резистивного слоя МРП-структура работает в отличие от лавинных МДП-структур при постоянном питающем напряжении. Однако этот слой позволяет, тем не менее, осуществлять и в МРП-структуре самостабилизированный лавинный процесс за счет отрицательной обратной связи, возникающей из-за увеличения падения напряжения на нем с ростом протекающего через прибор тока и снижения тем самым коэффициента лавинного умножения [3], как показано на рис.2. В данной работе приведены результаты экспериментального исследования спектральной плотности собственных шумов и амплитудного распределения шумовых импульсов фоточувствительных лавинных МРП-структур. Приборы, изготовленные в институте электроники АНБ по описанной технологии, имели фоточувствительную площадку размером 1мм^2 и 20мм^2 .

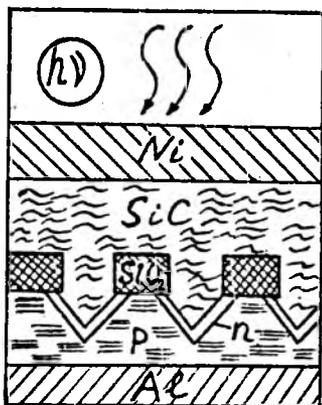


Рис.1. Геометрия структуры металл - резистивный слой - полупроводник

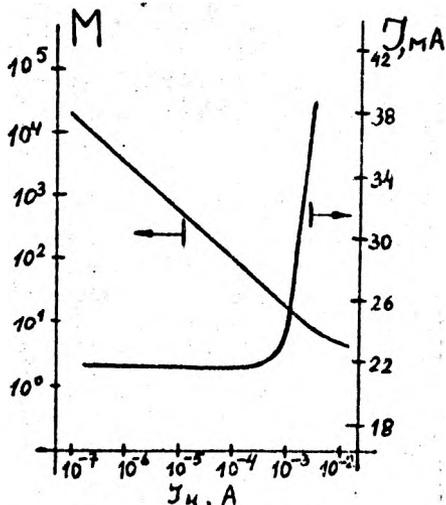


Рис. 2. Зависимость коэффициента умножения и полного тока от величины инициирующего тока.

Измерения спектральной плотности шумов проводились при напряжениях смещения, соответствующих предпробойному состоянию структур и состоянию пробоя. Рабочие точки определяли по вольт-амперным характеристикам, показанным на рис. 3 и 4.

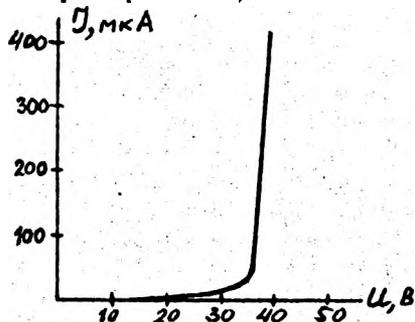


Рис.3. Вольт-амперная характеристика МРП-структуры с фоточувствительной площадью 1мм^2

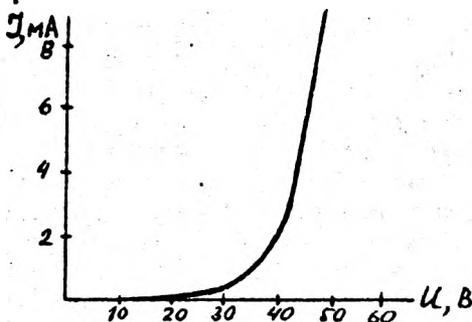


Рис.4. Вольт-амперная характеристика МРП-структуры с фоточувствительной площадью 20мм^2

Измерения проводили в частотном диапазоне от 10 Гц до 30 МГц, который перекрывался анализатором спектров типа СК4 - 56 и селективным вольтметром В6 - 10. Полученные типичные спектральные плотности шума исследованных МРП - структур приведены на рис.5 и 6.

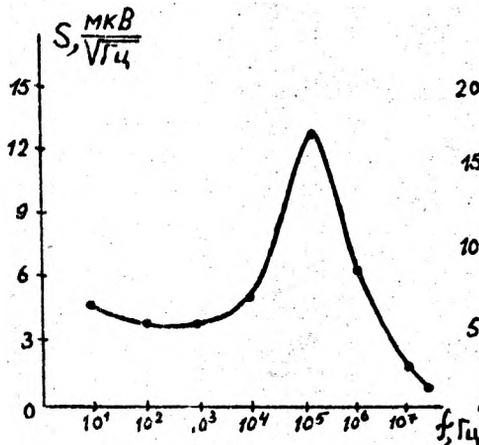


Рис.5. Спектральная плотность шума МРП-структуры с фото-чувствительной площадкой 1мм² (U=38В)

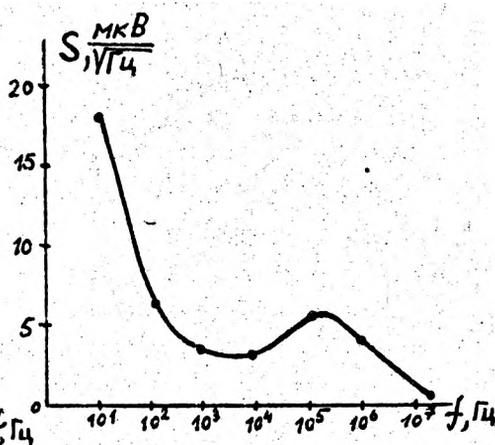


Рис.6. Спектральная плотность шума МРП-структуры с фото-чувствительной площадкой 20мм² (U=45В)

Полученные результаты выявили у всех имеющихся в распоряжении приборов характерное увеличение спектральной плотности шума на частотах порядка 100 кГц, что можно объяснить особенностями возникновения микроплазм в локальных р-п-переходах. Средняя частота их возникновения, по данным авторов работы [4] должна соответствовать частотному диапазону в несколько десятков килогерц.

Для выяснения характера шумов МРП - структур с помощью многоканального амплитудного анализатора АИ - 1024 исследовались амплитудные распределения шумовых импульсов с экспозицией 6,4 с по "живому" времени в диапазоне температур от +20° С до -80° С. Полученные данные, иллюстрируемые рис. 7, показывают, что с понижением температуры уменьшается количество импульсов малой амплитуды при росте числа отсчетов в старших каналах и слабом изменении их общей скорости счета. Очевидно, что для исследуемых образцов шумы термоэмиссионной природы дают в спектр лишь незначительный вклад, а доминируют слабо зависящие от температуры шумы лавинного умножения.

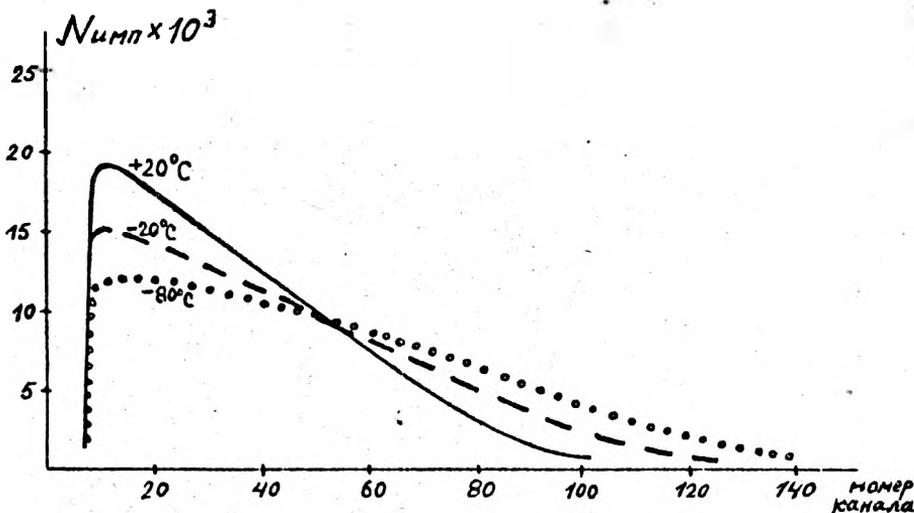


Рис.7. Амплитудные распределения шумов МРП- структур с фоточувствительной площадкой 20мм^2 (ширина канала 64мкВ)

Полученные данные позволяют оценить возможность использования фоточувствительных полупроводниковых МРП - структур с лавинным умножением носителей тока для задач ядерной спектрометрии. Рассмотрим сцинтилляционный детектор на их основе с кристаллом типа $\text{CaI}(\text{Tl})$, облучаемый гамма-квантами Cs^{137} . Будем исходить из того, что максимум спектральной чувствительности МРП - структуры соответствует длине волны $\lambda = 750\text{нм}$. Суммарный заряд, создаваемый при этом в МРП - структуре,

$$Q = (E / E_{\text{ср}}) \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot e \cdot M,$$

где: E - энергия излучаемых источником гамма-квантов;

$E_{\text{ср}}$ - средняя энергия, необходимая для образования одного фотона в сцинтилляторе;

e - заряд электрона;

a_1 - коэффициент, учитывающий потери энергии в сцинтилляторе;

a_2 - коэффициент, учитывающий несовпадение спектральных характеристик сцинтиллятора и МРП - структуры.

Приним $M = 1000$, коэффициент $a_1 = 0,7$, а коэффициент $a_2 = 0,2$, получим суммарный заряд, равный $Q = 3,3 \cdot 10^{-13}$ кулона.

При величине собственной емкости МРП - структуры порядка 100 пФ напряжение полезного сигнала составит примерно 3 мВ. Средняя амплитуда шумовых импульсов МРП - структуры (рис.7) соизмерима с амплитудой полезного сигнала. Поэтому в настоящее время использование исследуемых МРП - структур в сцинтилляционных детекторах оправдано лишь при измерении характеристик высокоэнергетических ядерных излучений и заряженных частиц.

Литература

1. Гасанов А.Г., Головин В.М., Садыгов З.Я., Юсипов Н.Ю. Лавинный фотоприемник на основе структур металл - резистивный слой - полупроводник // Письма в ЖТФ. - 1988. - Т.14, вып.8 - С.706 - 709.
2. Гасанов А.Г., Головин В.М., Садыгов З.Я., Юсипов Н.Ю. Фотоприемник с внутренним усилением на основе структур кремний - карбид кремний - металл// Микроэлектроника . - 1989. - Т.18, вып.1, С.88 - 90.
3. Гасанов А.Г., Головин В.М., Летагин В.Г., Садыгов З.Я., Юсипов Н.Ю. Особенности усиления фототока в лавинных МРП - структурах// Препринт ИЯИ АН СССР, П - 0673. - М., 1990. - 23с.
4. Грехов И.В., Серезкин Ю.Н. Лавинный пробой р - n - перехода в полупроводниках. - Л.: Энергия, 1980. - 145с.