

УДК 621.382 : 621.383.8 : 539.1.074.5

ХАРАКТЕРИСТИКИ КНИ-ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ 3D-МИКРОДОЗИМЕТРИИ

К. ф.-м. н. В. Л. Перевертайло, А. В. Перевертайло, А. С. Крюков

НИИ микроприборов НТК «ИМК» НАН Украины
Украина, г. Киев
detector@carrier.kiev.ua

Исследованы электрофизические и спектрометрические характеристики нового 3D-КНИ-мезамикродозиметра на основе КНИ-мезаструктуры, полученной травлением в ионной плазме. Показано, что плазмохимическое травление кремния приводит к существенному росту токов утечки p - n -переходов в КНИ-структуре, что требует принятия технологических мер. Спектрометрические характеристики наряду с электрофизическими могут использоваться для охарактеризования микродозиметрического прибора и качества технологии.

Ключевые слова: кремний-на-изоляторе, 3D-Меза, микродозиметр, плазмохимическое травление, энергетический спектр

Микродозиметры [1] имитируют массив биологических клеток с помощью микронно-размерных чувствительных элементов (ЧЭ) и позволяют точно измерять величину дозы, поглощенной биологической тканью при взаимодействии с высокоэнергетическими тяжелыми частицами, в отличие от стандартных монокристаллических детекторов. Микродозиметры (МД) являются перспективными для применения в космосе, авиации, а также в адронной терапии, включая тяжелые ионы (^{12}C).

Недавно предложенные и реализованные 3D-КНИ-микродозиметры на структурах «кремний-на-изоляторе (КНИ) с p -Si-слоем толщиной 10 мкм [1] (см. рис. 1) требуют охарактеризования технологии и приборов, которое проведено в данной работе.

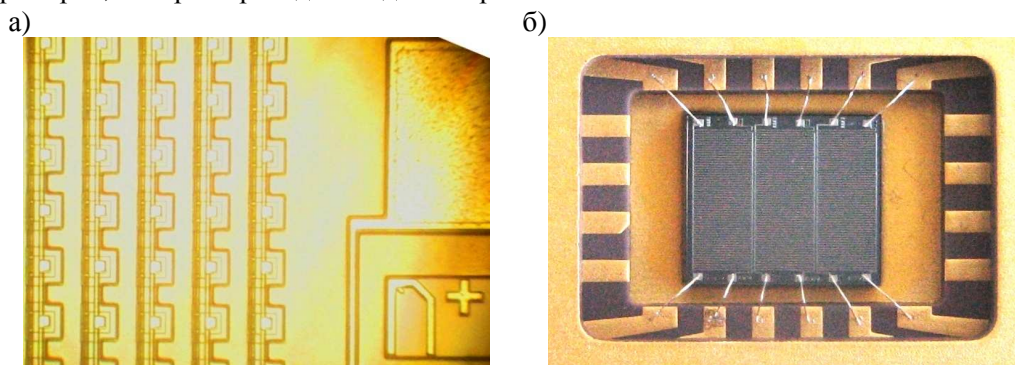


Рис. 1. Фрагмент микрофотографии массива ячеек мостикового 3D-КНИ-мезамикродозиметра с элементами размером 30×30 мкм и ионноимплантированным $p^+ - n$ -переходом размером 10×10 мкм (а) и микрочип размером $4,1 \times 3,6$ мм в 20-выводном корпусе (б)

Одними из основных параметров, характеризующих качество технологии и процент годных приборов, являются величины тока обратносмещенных $p^+ - n$ -переходов и пробивного напряжения микродозиметрических ЧЭ, соединенных общей шиной в большой массив (около $1,1 \times 10^4$ элементов).

Поскольку формирование мезаструктуры для получения 3D-элементов проводится плазмохимическим травлением на достаточно большую глубину (10 мкм), возможно сильное влияние этого процесса на указанные выше параметры, т. к. боковые вертикальные стенки мезаструктуры после травления кремния не защищены от влияния внешней среды. На рис. 2 показаны ВАХ микродози-

метрических массивов до и после травления слоя кремния толщиной 10 мкм. Видно, что исходные (нетравленные) структуры (4 нижние кривые, шкала токов логарифмическая) имеют очень низкие токи обратносмещенных p^+n -переходов (менее 10^{-11} А/мм²). После травления кремния обратные токи переходов повышаются почти на порядок (до 10^{-10} А/мм²). На ВАХ также может наблюдаться зависимость от влаги из атмосферы, которая устраняется отжигом (150°C, 2—10 ч).

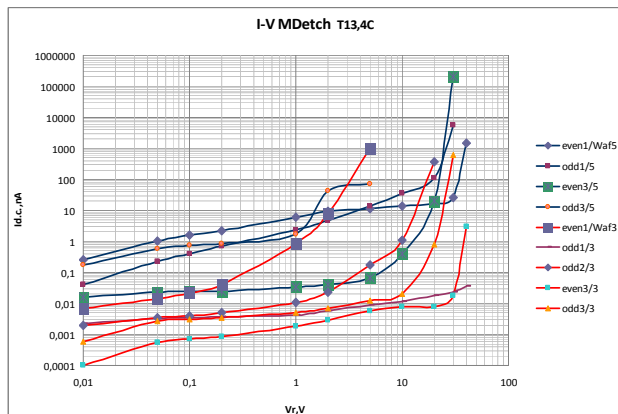


Рис. 2. ВАХ разработанного МД до травления (четыре нижние кривые) и после травления кремния (четыре верхние кривые)

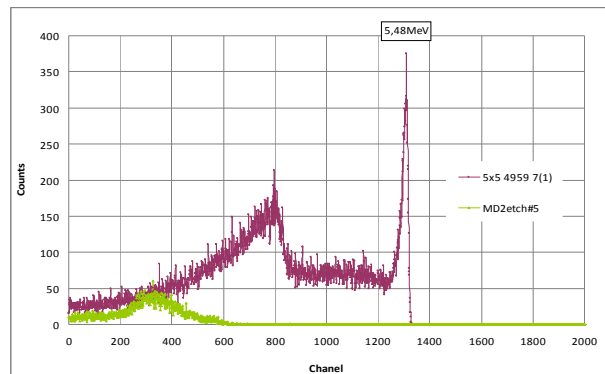


Рис. 3. Энергетические спектры 3D-КНИ-мезамикродозиметра (нижняя кривая) и монолитных $p-i-n$ -диодов (верхняя кривая с пиком 5,48 МэВ справа в окрестности 1310 канала)

Важной характеристикой микродозиметрического массива является энергетический спектр сигналов, полученный при облучении высокоэнергетическими частицами. Энергетический спектр характеризует все события взаимодействий с первичными и вторичными частицами, сопровождающиеся поглощением энергии в чувствительном элементе. На рис. 3 приведен спектр, регистрируемый микродозиметром при облучении α -частицами с энергией 5,48 МэВ от источника ^{241}Am . Этот спектр был измерен на спектрометрической установке, описанной в [2], и показан на рис. 3 в сравнении со спектром стандартного монолитного $p-i-n$ -диода со сплошным p^+n -переходом (верхняя кривая). Видно, что на спектре, измеренном микродозиметром, пик для α -частиц с $E=5,48$ МэВ находится в окрестности 326 канала, что соответствует энергии примерно 1,36 МэВ. Занижение энергии объясняется тем, что толщина ЧЭ, составляющая 10 мкм, меньше пробега α -частиц в кремнии (30—50 мкм), в результате чего в ЧЭ поглощается только часть энергии частицы, т. е. амплитуда сигнала занижена примерно в 4 раза. Это согласуется с данными, полученными методом ИВМС (Ion Beam Induced Current) в [1] и др., где величина пика для ионов He^{2+} с энергией 5,5 МэВ была расположена в области каналов, характеризующихся энергией 1,4 МэВ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Livingstone J., Prokopovich D. A., Petasecca M. et al. Large area silicon microdosimeter for dosimetry in high LET space radiation fields: Charge collection study // IEEE Trans. on Nucl. Sci.— 2012.— Vol. 59.— N 6.— P. 3126–3132.

2. Перевертайло В. Л., Зайцевский И. Л., Тарасенко Л. И., Перевертайло А. В., Шкиренко Э. А., Крюков А. С. Модульный спектрометр для оценки качества технологии твердотельных детекторов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2013.— № 2–3.— С. 3–7.

V. L. Perevertailo, A. V. Perevertailo, A. S. Kryukov
Characteristics of SOI detectors for 3D microdosimetry.

The electrical and spectrometric characteristics of the new 3D SOI mesa microdosimeter based on SOI mesa structure formed by etching in the ion plasma have been studied. It is shown that plasma etching of silicon leads to a significant increase in leakage current of $p-n$ -junctions in the SOI structure, which requires adopting certain technological remedies. Both spectrometric and electrophysical characteristics can be used to characterize the microdosimetric device and the quality of the technology.

Keywords: *silicon on insulator, 3D Mesa microdosimetry, plasm-chemical etching, energy spectrum.*