

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

13-86-154

И.Брыловска\*, М.Валериан, Ким Чан Хван,  
Нгуен Тхань Хань, Б.П.Осипенко, К.Папроцки\*,  
М.Трачек

**КРЕМНИЕВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ  
ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ  
С ПЕРЕХОДАМИ СИЛИЦИД-КРЕМНИЙ**

---

\* Университет им. Марии Кюри - Склодовской,  
Люблин, ПНР

**1986**

## ВВЕДЕНИЕ

Продолжение работ по повышению надежности полупроводниковых детекторов /ППД/ привело к необходимости замены служивших долгие годы поверхностно-барьерных переходов на другие, более надежные типы переходов, к которым можно изготовить электрические вводы путем сварки.

Такие переходы должны иметь малую глубину залегания, чтобы свести к минимуму потери энергии заряженной частицы в "мертвом слое", низкую температуру формирования перехода для сохранения параметров исходного кремния после термообработки и высокий потенциальный барьер, позволяющий получить малые темновые токи и высокое пробивное напряжение. Желательно также, чтобы при изготовлении таких переходов не возникало необходимости использовать сложное или дорогостоящее оборудование. На наш взгляд, такие переходы можно изготовить путем формирования силицидов на поверхности кремниевой заготовки.

Силициды хорошо изучены и используются в настоящее время при изготовлении интегральных схем и солнечных батарей <sup>1,2/</sup>. В работе <sup>12/</sup> показано, что минимальная толщина нанесенного металла ограничивается условиями перекрытия всей поверхности. При толщине пленки металла более 150-200 Å можно получить 100-процентное перекрытие поверхности. Температура формирования силицидов для различных металлов колеблется от 200-400°C для платины, палладия, никеля и др. до 550-700°C для гафния, тантала, титана и др.

Для создания переходов в кремнии n-типа обычно используют силициды PtSi, Pd<sub>2</sub>Si и Ni<sub>2</sub>Si. Высота потенциального барьера у переходов PtSi-Si практически такая же, как и у поверхностно-барьерного перехода, у переходов Pd<sub>2</sub>Si-Si и Ni<sub>2</sub>Si-Si она ниже.

Цель настоящей работы - показать возможность изготовления детекторов с переходом силицид-кремний, характеристики которых не уступали бы характеристикам поверхностно-барьерных детекторов.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕРЕХОДОВ Pd<sub>2</sub>Si — Si

Так как величина потенциального барьера ( $\phi_B$ ) Pd<sub>2</sub>Si-Si мало отличается от величины ( $\phi_B$ ) PtSi-Si, удобнее начинать работу с палладием, так как он легче напыляется в вакууме. Технология изготовления детекторов с переходами Pd<sub>2</sub>Si-Si аналогична технологии изготовления поверхностно-барьерных детекторов. Отличие

заключается в том, что перед напылением палладия образец обрабатывается разбавленной водой плавиковой кислотой /30:1/ для удаления окисла, образовавшегося при травлении. После отмычки и сушки на рабочую поверхность кремниевой заготовки в вакууме / $10^{-8}$  мм рт.ст./ напыляется палладий. Толщина напыленного слоя 200-250 Å. Формируется  $Pd_2Si$  путем отжига образца с напыленным Pd в вакууме или инертной атмосфере при температуре  $300 \pm 400^\circ C$  в течение 15-20 мин.

Для исследования свойств и структуры пленок силицида они изготавливались различной толщины: от 0,02 до 0,27 мкм. Используемый кремний n-типа имел удельное сопротивление от 0,2 до 15 Ом·см.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК СИЛИЦИДА ПАЛЛАДИЯ

Для определения кристаллической решетки  $Pd_2Si$  использовался рентгеновский дифрактометр Люблинского университета. Для этих измерений был приготовлен образец с толстой /0,27 мкм/ пленкой палладия. Из рис.1б видно, что при отжиге в течение 30 мин при  $t = 400^\circ C$  вся пленка палладия не успевает прореагировать, перейти в  $Pd_2Si$ . Этот результат находится в хорошем согласии с вы-

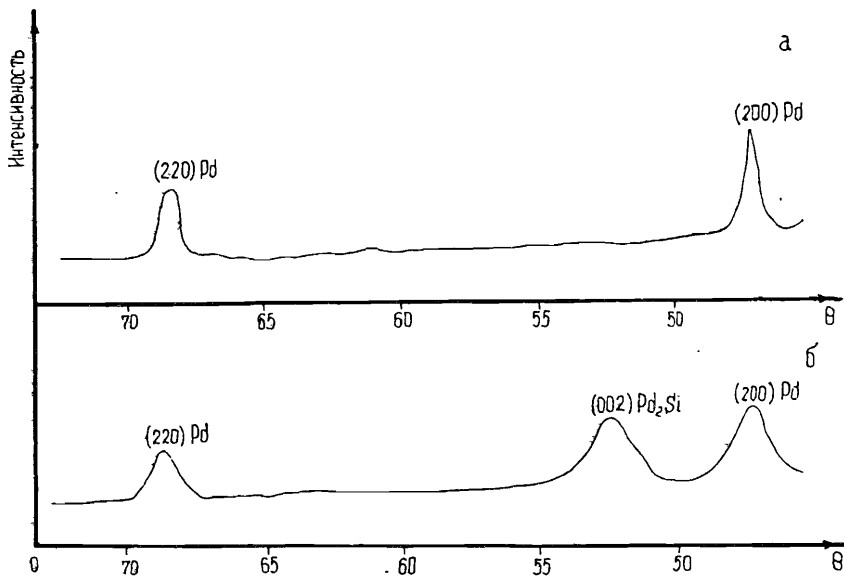


Рис.1. Дифрактограмма пленки палладия, напыленной на поверхность кремния: а - до отжига, б - после отжига при  $t = 400^\circ C$  в течение 30 мин.

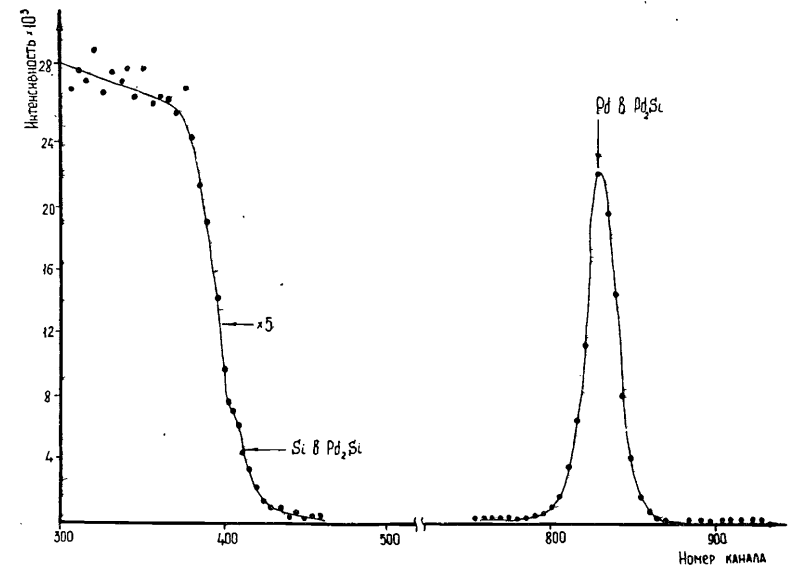


Рис.2. Спектр обратного рассеяния при облучении пленки  $\alpha$ -частицами с энергией 2,5 МэВ под углом  $135^\circ$ .

водами, сделанными в работе /3/. На рис.1 показано направление кристаллографических осей в кристаллах Pd до /а/ и после отжига /б/.

Толщина и чистота пленок силицида определялась методом обратного рассеяния  $\alpha$ -частиц, а также по рентгенофлуоресцентному излучению, наведенному облучением исследуемых пленок  $\alpha$ -частицами. Облучение  $\alpha$ -частицами с энергией 2,5 МэВ проводилось на электростатическом ускорителе ЛНФ ОИЯИ.

На рис.2 приведен спектр, полученный при облучении пленок  $\alpha$ -частицами под углом  $135^\circ$ . Обработка спектра показывает, что пленка  $Pd_2Si$  имеет толщину 330 Å, однородна. Рентгеновский спектр также подтверждает, что пленка не содержит заметных примесей.

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРЕХОДОВ СИЛИЦИД ПАЛЛАДИЯ-КРЕМНИЙ n-ТИПА .

Для определения высоты потенциального барьера использовался метод вольт-амперных /V - A/ и вольт-фарядных /V - C/ характеристик /1/. На рис.3, 4 приведены /V - A/- и /V - C/-характеристики одного из переходов.

Практически все изготовленные переходы имели такие же характеристики, как у диодов Шоттки: высота потенциального барьера

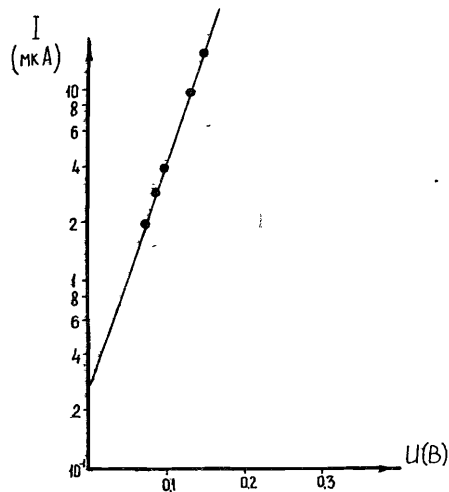


Рис.3. Прямая ветвь /V - A/-характеристики детектора с/Pd<sub>2</sub>Si-Si/-переходом /диаметр перехода  $\phi = 0,8$  см/.

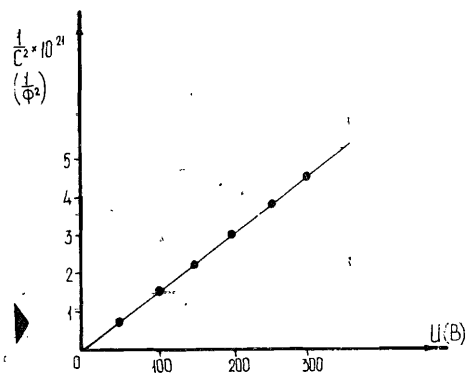


Рис.4. /V - C/-характеристика детектора с /Pd<sub>2</sub>Si-Si/-переходом / $\phi = 0,8$  см/.

$\phi_B = 0,73 \pm 0,77$  эВ и коэффициент идеальности  $1,03 \pm 1,54$ . Под коэффициентом идеальности имеется в виду отношение измеренной плотности тока, протекающего через переход, к расчетной /принимая, что это переходы Шоттки/.

Опыт показал, что при толщине пленки Pd<sub>2</sub>Si  $\geq 350$  Å с хорошей воспроизводимостью получается полное перекрытие рабочей поверхности детектора. Изготовленные опытные образцы детекторов с толщиной слоя Pd<sub>2</sub>Si около 350 Å в большинстве случаев имели обратные токи меньше 1 мкА при напряжении 100 В. У некоторых образцов обратные токи приближались к токам хороших поверхностно-барьерных детекторов /рис.5/. Энергетическое разрешение таких детекторов около 20 кэВ для  $\alpha$ -частиц с энергией 5,5 МэВ /рис.6/.

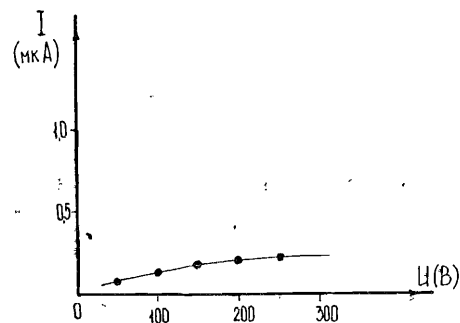


Рис.5. Обратная ветвь /V - A/-характеристики детектора с /Pd<sub>2</sub>Si-Si/-переходом / $\phi = 0,8$  см/.

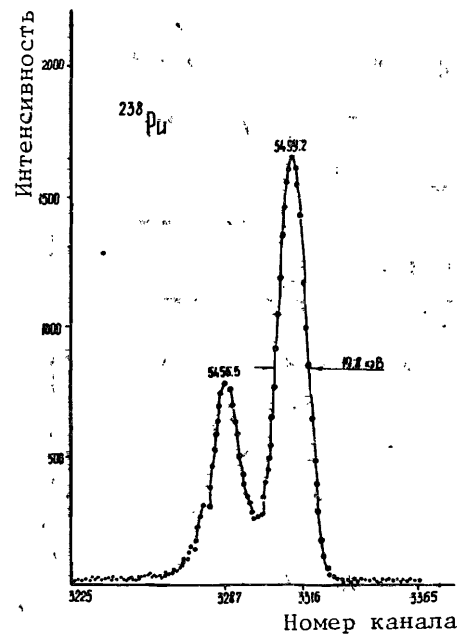


Рис.6. Энергетический спектр  $\alpha$ -частиц <sup>238</sup>Pu, снятый с помощью детектора с (Pd<sub>2</sub>Si-Si)-переходом / $\phi = 0,8$  см/.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый способ получения переходов у кремниевых детекторов позволяет изготовить детекторы с характеристиками, близкими характеристикам поверхностно-барьерных детекторов, но с более высокой надежностью. Переход Pd<sub>2</sub>Si-Si механически прочен, к нему можно приварить электрический ввод.

На окиси кремния SiO<sub>2</sub> силициды не образуются, поэтому переходы Pd<sub>2</sub>Si-Si легко формируются на кремнии с окисленной поверхностью, в которой вскрыты "окна".

Авторы с особым удовлетворением выражают благодарность Осетинскому Г.М. и его сотрудникам за оказанное содействие и помощь в облучении образцов  $\alpha$ -частицами на электростатическом ускорителе ЛНФ ОИЯИ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зи.С. Физика полупроводниковых приборов. "Мир", М., 1984.
2. Camali C. et al. J.Phys. D, 1977, 10, p.2481.
3. Ottaviani G., Tu K.N. Phys.Rev. B, 1981, 24, p.3354.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 марта 1986 года.

Брыловска И, и др.

13-86-154

Кремниевые детекторы ядерных излучений  
с переходами силицид-кремний

Показано, что с целью повышения надежности детекторов ядерных излучений можно использовать переходы силицид-кремний. Толщина "входных окон", токи утечки и энергетическое разрешение детекторов с переходом силицид палладия-кремний близки к параметрам аналогичных поверхностно-барьерных детекторов. Состав силицидов и их толщина определялись из спектров обратного рассеяния, полученных при облучении силицидов  $\alpha$ -частицами с энергией 2,5 МэВ под углом  $135^\circ$  на электростатическом ускорителе ЛНФ ОИЯИ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Brylowska I. et al.

13-86-154

Nuclear Radiation Silicon Detectors with  
Silicide-Silicon Junctions

It is shown that in order to increase the reliability of nuclear radiation detectors silicide-silicon junctions could be used. The thickness of "input windows", leakage current and energy resolution of detectors with palladium silicide-silicon junctions are similar to the parameters of analogous surface-barrier detectors. Silicide composition and their thickness are determined by back-scattering spectra obtained at irradiating silicides with  $\alpha$ -particles with 2.5 MeV energy at  $135^\circ$  angle using the LNP electrostatic accelerator.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986