

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-86-796

М.Г.Горнов*, Ю.Б.Гуров*, Ким Зай Те,
Ким Чан Хван, Б.П.Осипенко, Я.Юрковски

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
С ТОНКИМИ "МЕРТВЫМИ" СЛОЯМИ,
ПОЛУЧЕННЫМИ С ПОМОЩЬЮ ДИФФУЗИИ ЛИТИЯ**

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

*Московский инженерно-физический институт

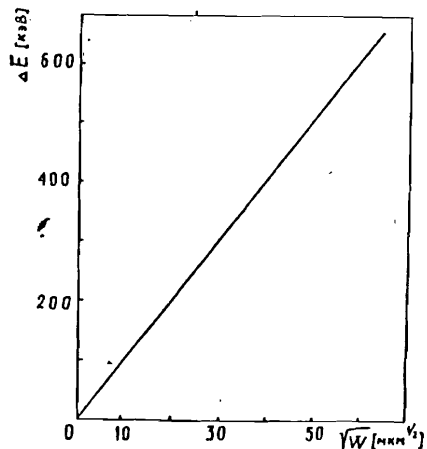
Появление светосильных многослойных полупроводниковых спектрометров ^{/1-3/} позволило приступить к решению широкого круга физических задач. Вместе с тем требования, возникшие в ходе выполнения исследований, привели к необходимости совершенствовать технологию изготовления ППД, методы их калибровки, а также обусловили создание электронных систем с высокими эксплуатационными параметрами. В основном эти разработки и усовершенствования направлены на то, чтобы реализовать в эксперименте высокое энергетическое разрешение полупроводниковых спектрометров.

Спектрометрические характеристики телескопа ППД в значительной степени определяются величинами нечувствительных, так называемых мертвых, слоев ($W_{м.с.}$). Для примера на рис. 1 представлена расчетная зависимость энергетического разрешения стопки кремниевых детекторов толщиной 3 мм от величины \sqrt{W} при регистрации заряженных частиц (p, d, t), где W - сумма толщин мертвых слоев, через которые проходит частица до остановки. Так как при изготовлении стандартных детекторов с помощью диффузии лития ^{/4/} глубина залегания p-n перехода составляет $300 \div 500$ мкм, то при спектрометрии частиц с пробегами выше 3 мм энергетическое разрешение полупроводникового спектрометра практически полностью определяется толщиной нечувствительных слоев. Поэтому для реализации высоких спектрометрических характеристик таких приборов возникла необходимость разработать ППД с тонкими $10 \div 50$ мкм/

мертвыми слоями. Кроме того, для улучшения качества контактов желательно повысить поверхностную концентрацию лигирующей примеси.

В настоящее время известны различные способы изготовления тонких диффузионных слоев. Так, авторы работы ^{/5/} для получения нечувствительного слоя ~ 20 мкм проводили диффузию лития при

рис. 1. Расчетная зависимость энергетического разрешения стопки кремниевых ППД от \sqrt{W} , где W - сумма толщин мертвых слоев, проходимых частицей до полной остановки.



температуре 180°C , однако при этом концентрация примеси на поверхности резко снижалась. Это привело к увеличению контактных шумов и, следовательно, к ухудшению энергетического разрешения ППД. В работе ^{/6/} использовался лазерный нагрев. Такой способ позволяет получать мертвый слой $\sim 0,1$ мкм, но с помощью лазерного луча технически сложно равномерно прогреть площадь $> 1 \text{ см}^2$. Небольшую глубину залегания p-n перехода или омического контакта можно создать в результате ионного внедрения лигирующей примеси ^{/7/}. Недостатком имплантации лития является необходимость отжига радиационных дефектов, который в данном случае приводит к заметному ухудшению характеристик детекторов.

В работе излагается усовершенствованный способ проведения диффузии лития с помощью световых импульсов с целью формирования у ППД тонких нечувствительных слоев. Для полупроводниковых детекторов большой площади 10 см^2 такой подход, по-видимому, является принципиальным.

Для снижения глубины диффузии и получения распределения концентрации примеси с резким спадом осуществляется поверхностный разогрев образца при одновременном его охлаждении с другой стороны. Это позволяет сохранить параметры исходного материала, так как основная масса кристалла не нагревается до высоких температур. Используемый нами метод проведения диффузии реализуется с помощью установки, схема которой представлена на рис. 2. Нагреватель в виде молибденовой или танталовой фольги /размер $10 \times 10 \text{ см}$ / используется как излучатель света. Например, температура танталового нагревателя может достигать 2000°C , что дает возможность прогреть импульсами света поверхность образца до температур выше 700°C . Охлаждая подложку, на которой размещается детектор, подбирая длительность и скважность световых импульсов, можно прогреть только приповерхностный слой ППД. Это ведет

к тому, что температура от поверхности кристалла резко снижается, то есть создается температурный градиент, при котором коэффициент диффузии от поверхности в глубину объема образца уменьшается. Температуру поверхности образца можно также регулировать путем изменения температуры излучателя или

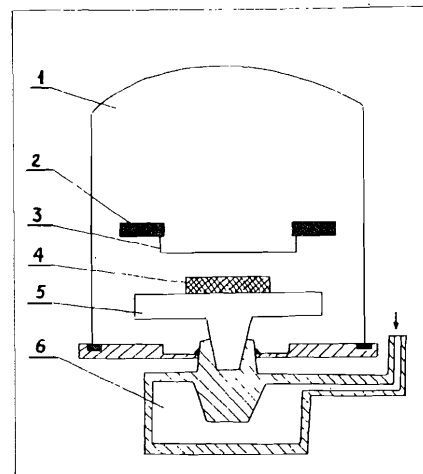


рис. 2. Схема установки для проведения диффузии лития с помощью световых импульсов: 1-вакуумный объем, 2-электрические вводы, 3-излучатель, 4-образец, 5-охлаждаемая подложка, 6-объем для заливки жидкого азота.

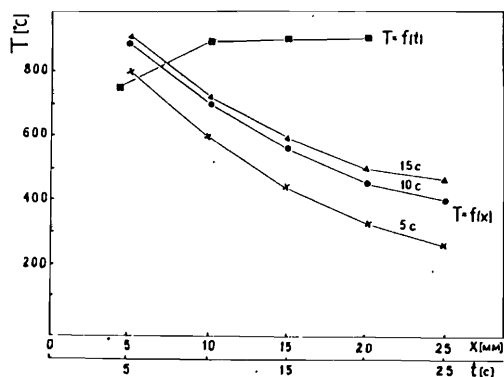
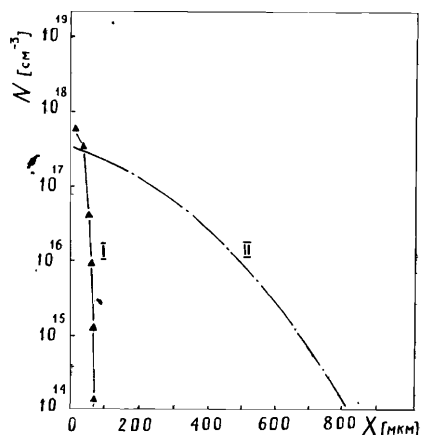


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры подложки от длительности одиночных импульсов света и расстояния между излучателем и подложкой. Для $T = f(t)$ расстояние излучатель - подложка равно 5 мм.

изменения расстояния излучатель - подложка. На рис. 3 показана зависимость максимальной температуры

поверхности подложки, измеренная термопарой, от длительности одиночных импульсов света, показано также изменение этой величины в зависимости от расстояния излучатель - подложка при различных длительностях световых импульсов. Температура танталового излучателя в данных измерениях $\sim 1500^\circ\text{C}$.

Таким образом, требуемый профиль распределения лития можно получить, изменяя температурный градиент в приповерхностном слое образца. На рис. 4 приведен один из примеров распределения концентрации лития в германии после проведения диффузии предлагаемым способом. Профиль распределения получен при измерении поверхностной проводимости методом последовательного шлифа. Для сравнения на этом же рисунке показано расчетное распределение концентрации лития по глубине образца при равномерном нагреве. Видно, что глубина залегания р-п перехода, полученного с помощью диффузии лития при наличии температурного градиента, на порядок меньше, чем при изготовлении по традиционной технологии. Кроме того, возрастает поверхностная концентрация примеси, что



обусловлено более высокой температурой поверхности кристалла в нашем подходе.

Подтверждением резкой границы между р-п переходом и базовым материалом, по сравнению с диффузией при равномерном нагреве, может также служить зависимость

Рис. 4. Распределение концентрации лития в Ge: I - нагрев двумя световыми импульсами длительностью 10 с, скважность 5 мин, расстояние излучатель - подложка равно 5 мм, II - нагрев при $T = 340^\circ\text{C}$ в течение 10 мин.

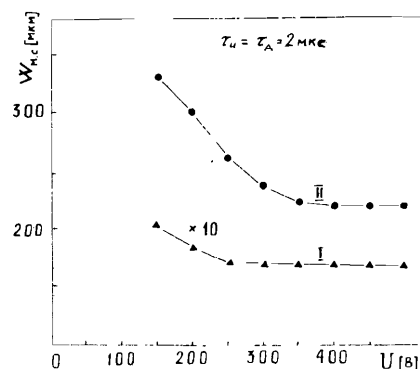


Рис. 5. Зависимость толщины нечувствительной области Si(Li) - ППД от приложенного напряжения: I - детектор с резким р-п переходом. Толщина мертвого слоя измерена с помощью α -частиц; II - детектор с обычным диффузионным переходом, $W_{нс}$ измерена с помощью электронов /8/.

толщины нечувствительной области детекторов от величины обратного напряжения, представленная на

рис. 5. Видно, что она гораздо резче выходит на насыщение у детектора, полученного методом диффузии с помощью световых импульсов, по сравнению с ППД, имеющим обычный диффузионный переход.

Для того чтобы понять, как влияет усовершенствованный способ на качество детекторов, у двух литий-дрейфовых ППД из кремния, изготовленных по стандартной технологии, был сошлифован перекompensированный литием слой. После обезжиривания и травления на подготовленную поверхность в вакууме напылялся литий. Затем образец переносился в установку /см. рис. 2/, где проводилась диффузия указанным выше методом. После напыления контактов детекторы ставились на выравнивающий дрейф до полного насыщения вольт-фарадной характеристики. В таблице представлены значения энергетического разрешения этих ППД, измеренные с помощью источника электронов внутренней конверсии ^{207}Bi .

Таблица

Площадь чувствительной области ППД	ΔE /кэВ/ при $T = 20^\circ\text{C}$	
	исходный образец	полученный образец
$S = 1 \text{ см}^2$	27	14
$S = 8 \text{ см}^2$	65	30

Значения ΔE детекторов, полученных таким образом, соответствуют лучшим Si(Li) - ППД, которые изготавливались с помощью диффузии лития при равномерном нагреве.

Проведение диффузии лития предлагаемым способом на пластинах, вырезанных из монокристаллов сверхчистого германия, позволило улучшить также временные характеристики детекторов из НРGe. Этот эффект может быть объяснен более совершенной формой электрического поля в чувствительной области ППД за счет резкого спада в распределении примеси.

Измерения толщин диффузионного слоя с помощью α -частиц у детекторов с резкими p-n переходами показали, что $W_{M.C.}$ не превышает 10 ± 20 мкм, при этом детекторы не изменили своих характеристик, проработав больше года.

Следует отметить, что тонкие нечувствительные слои в случае Si(Li) - ППД необходимо получать на образцах с компенсированной областью. Это связано с тем, что проведение диффузии с помощью импульсов света с целью проведения дрейфа лития на пластинах исходного материала, так же как и в стандартном подходе, ведет к увеличению мертвого слоя.

Таким образом, применение предлагаемого способа позволяет изготавливать полупроводниковые детекторы с такими параметрами, которые приблизят энергетическое разрешение многослойных спектрометров к суммарному разрешению ППД. При этом представленный метод отличается простотой и высокой технологичностью. Глубина залегания p-n перехода, то есть мертвый слой, хорошо воспроизводится в данной технологии. За счет увеличения концентрации лития улучшилось качество контакта, что привело к уменьшению контактных шумов ППД, и, как следствие, улучшилось энергетическое и временное разрешение, увеличилось пробивное напряжение, уменьшились обратные токи по сравнению с детекторами, полученными по традиционной технологии.

В заключение мы хотели бы выразить благодарность В.М.Голикову, И.Н.Егошину и В.А.Печкурову за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горнов М.Г. и др. ОИЯИ, 13-82-621, Дубна, 1982.
2. Рип Ж. и др. - Атомная техника за рубежом, 1981, №11, с.35.
3. Vegaki J. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1981, 179, p.55.
4. Акимов Ю.К. и др. Полупроводниковые детекторы ядерных частиц и их применение. М.: Атомиздат, 1967.
5. Walton J.T. et al. - IEEE Trans.Nucl.Sci., 1978, NS-25, No.1, p.391.
6. Pearton S.J. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1981, 188, p.261.
7. Riepe G. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1979, 165, p.31.
8. Горнов М.Г. и др. - ПТЭ, 1983, №6, с.42.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 декабря 1986 года.

Горнов М.Г. и др.

13-86-796

Полупроводниковые детекторы с тонкими "мертвыми" слоями, полученными с помощью диффузии лития

Описываются полупроводниковые детекторы с тонкими $\sim 10 \pm 20$ мкм/ "мертвыми" слоями, которые позволяют приблизить энергетическое разрешение ППД спектрометров к суммарному разрешению детекторов. Для уменьшения глубины залегания p-n перехода, в отличие от традиционной технологии, проводится диффузия лития с помощью световых импульсов при наличии температурного градиента в образце. Кроме того, при таком подходе возрастает поверхностная концентрация примеси, что ведет к улучшению качества контакта, и, как следствие, улучшаются характеристики ППД.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Gornov M.G. et al.

13-86-796

Semiconductor Detectors with Thin "Dead" Layers Obtained by Lithium Diffusion

The semiconductor detectors with thin (10-20 mkm) "dead" layers are described which allow to approach the energy resolution of multiplayer spectrometer to summary resolution of detectors. In order to diminish the depth of p-n transition junction, as compared to traditional technology, the lithium diffusion is performed by means of light impulses at temperature gradient in a sample. Besides, in such an approach the surface impurity concentration increases that results in improvement of contact qualities, and as a consequence, the detector characteristics improve.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986