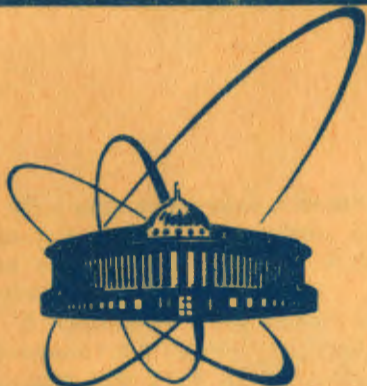


82-397



сообщения  
Объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

3855/82

16/8-82

13-82-397

Ч.Жаргал, Ким Зай Те, Лим Хен Тхек,  
Б.П.Осипенко, А.В.Ревенко, Сон Ен Ган,  
Я.Юрковски

КОАКСИАЛЬНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ  
ИЗ СВЕРХЧИСТОГО ГЕРМАНИЯ

1982

Для спектрометрии, гамма-излучений широко применяются германий-литиевые детекторы. Однако они требуют много времени для своего изготовления и не могут храниться при комнатной температуре.

В последние годы стали чаще использоваться детекторы из сверхчистого германия. Целесообразность применения этого материала для этих целей специалистам понятна давно, но лишь в последнее время сверхчистый германий стал доступен для практического использования.

Преимущество детекторов из сверхчистого германия сводится к тому, что они могут храниться при комнатной температуре без ухудшения спектрометрических характеристик <sup>1,2/</sup>, восстановление характеристик после радиационных повреждений <sup>3-5/</sup> и создание  $n^+$ - и  $p^+$ -контактов <sup>6,7/</sup> возможно при более низкой температуре. Время, необходимое для изготовления детекторов из сверхчистого германия, во много раз меньше времени, требуемого для изготовления германий-литиевых детекторов.

Начиная с 1981 года в ОИЯИ новые детекторы для гамма-спектрометрии в основном делаются из сверхчистого германия.

Для создания коаксиальных детекторов из сверхчистого германия использовался германий  $p$ -типа с разностной концентрацией примеси  $2 \div 4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ .  $p^+$ -контакт выполнялся диффузией сплава  $\text{In-Ca}$ ,  $n$ - $p$ -переход - диффузией лития. Энергетическое разрешение полученных детекторов не превышало 1,2 и 1,9 кэВ при энергиях 122 и 1332 кэВ соответственно.

## ОБРАБОТКА КРИСТАЛЛА

Заготовка сверхчистого германия отрезалась от слитка монокристалла таким образом, чтобы разброс концентрации примеси не был больше двух. Диаметр и глубина внутреннего колодца /рис.1/ выбирались с учетом концентрации примеси, диаметра и длины заготовки. Для изготовления колодца служило алмазное цилиндрическое сверло. Шлифовка производилась стальными и фторопластовыми стержнями со шлифовальными порошками  $M40 \div M7$ .

После отмывки заготовки с помощью технического мыла и дистиллированной воды она дважды травилась в смеси азотной и плавиковой кислот  $3:1/$  по 3 мин.

### СОЗДАНИЕ p<sup>+</sup>-КОНТАКТА И n-p-ПЕРЕХОДА

p<sup>+</sup>-контакт изготавливался диффузией сплава In-Ga<sup>/7/</sup>. Содержание Ga в сплаве составляло 0,13%. Готовился он в графитовой лодочке при температуре 950 °C в атмосфере аргона.

Заготовка, в которой для улучшения смачивания на стенки колодца напылено золото, помещалась в специальную графитовую оправку со сплавом In-Ga, нагревалась до температуры 365 °C в атмосфере аргона или вакууме и выдерживалась в течение 10 мин с последующим медленным охлаждением /2 °C /с/. Зависимость изменения температуры во времени показана на рис.2.

Охлажденная до 165 °C заготовка вынималась из оправки, и из колодца сливался сплав In-Ga, остатки сплава стравливались 50-процентным раствором соляной кислоты, нагретой до 50 °C.

Отмытый в дистиллированной воде образец готов для изготовления в нем n-p-перехода.

n-p-переход создавался диффузией лития при температуре 325 °C. Образец устанавливался в специальном нагревателе, размещенном в вакуумной установке. После получения необходимого вакуума и прогрева образца до 300 °C на внешнюю поверхность образца из четырех вольфрамовых испарителей напылялся литий. Диффузия велась в течение 7 мин, затем образец быстро охлаждался. Остатки окиси лития отмывались в водном растворе этилового спирта, и открытый торец образца несколько раз травился по 5 мин с помощью полиэтиленовой пипетки смесью азотной и плавиковой кислот /3:1/. У хорошо отмытого деионизованной водой образца открытый торец обрабатывался струей дважды перегнанного этилового спирта. Готовый образец из сверхчистого германия упаковывался в оправку и криостат так же, как и германий-литиевый /8/.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРА

Напряжение, при котором происходит полное обеднение чувствительной области детектора, определяется выражением /9/

$$u = \frac{qN}{2\epsilon} \left[ r_1^2 \ln \frac{r_2}{r_1} - \frac{1}{2} (r_2^2 - r_1^2) \right], \quad /1/$$

где q - заряд электрона, N - плотность разностной концентрации примеси в объеме материала, ε - диэлектрическая проницаемость, r<sub>1</sub> и r<sub>2</sub> - внутренний и внешний радиусы детектора. На рис.3 и 4 приведены вольт-фарадная характеристика и зависимость скорости счета детектора от напряжения смещения для одного и того же детектора из сверхчистого германия. Из рисунков видно, что чувствительная область растягивается от электрода до электрода при напряжении 1500 вольт. Токи утечки де-

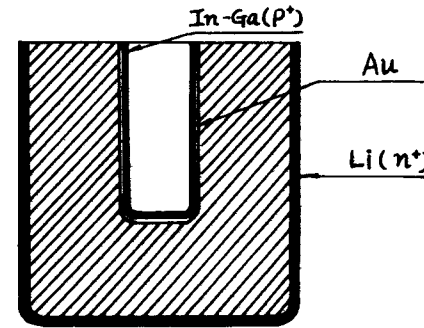


Рис.1. Структурные слои коаксиального детектора.

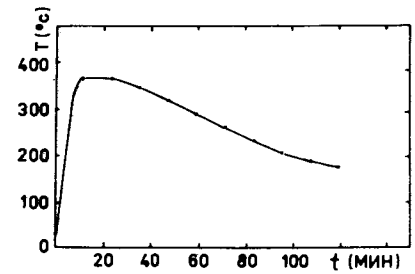


Рис.2. Температурная зависимость в процессе создания p<sup>+</sup>-контакта.

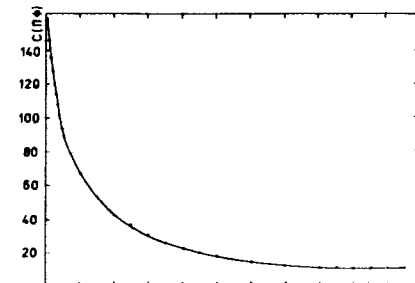


Рис.3. Вольт-фарадная характеристика.

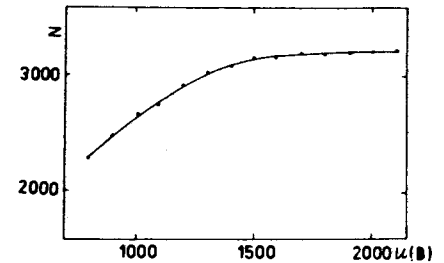


Рис.4. Зависимость скорости счета детектора от напряжении смещения.

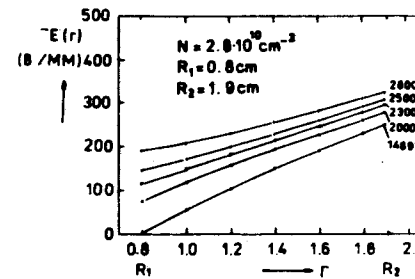
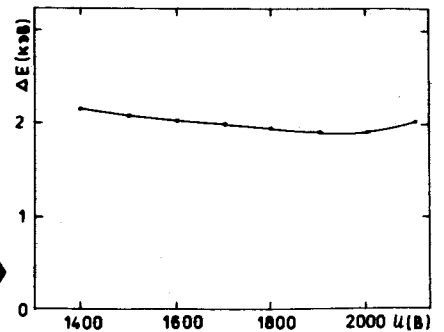


Рис.5. Распределение напряженности электрического поля по радиусу детектора.

Рис.6. Зависимость энергетического разрешения от напряжения на детекторе для E<sub>γ</sub> = 1,22 МэВ.



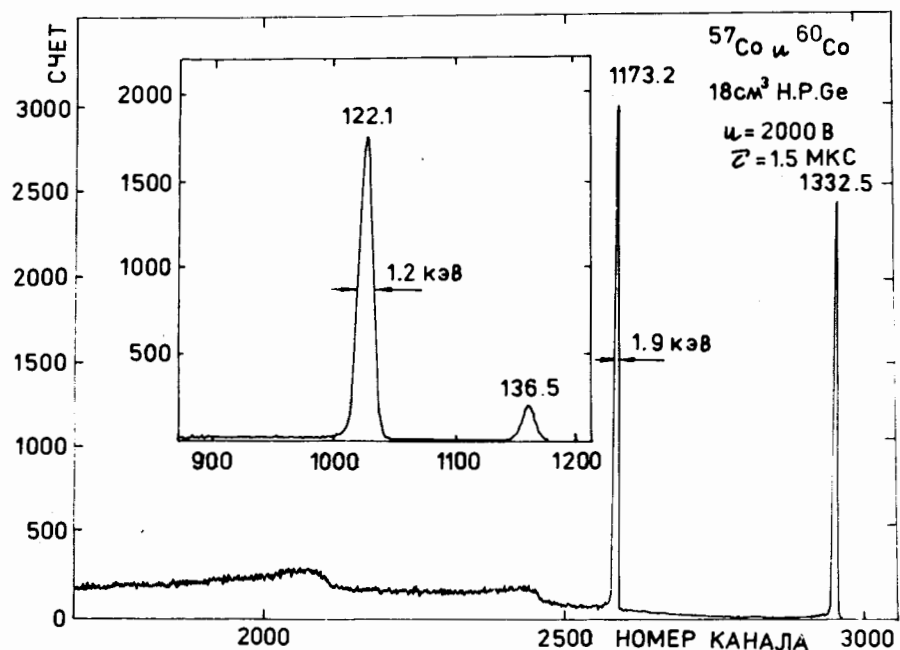


Рис. 7. Спектры гамма-излучений  $^{57}\text{Co}$  и  $^{60}\text{Co}$ , измеренные с помощью коаксиального детектора из сверхчистого германия.

детектора существенно не увеличиваются вплоть до 2300 вольт. При напряжении 2100 вольт обратный ток детектора составляет  $5 \cdot 10^{-11}$  А.

Зная геометрические размеры детектора, взяв необходимые данные из вольт-фарадной характеристики и пользуясь выражением /1/, определим среднее значение разностной концентрации примеси в объеме детектора. Для выбранного нами детектора она составляет  $2,8 \cdot 10^{10}$  см $^{-3}$ , что хорошо согласуется с паспортными данными для исходного слитка германия /на одном его конце -  $2 \cdot 10^{10}$ , а на другом -  $3,9 \cdot 10^{10}$  см $^{-3}$  /.

На рис. 5 показано распределение напряженности электрического поля при различных напряжениях смещения, вычисленное с помощью выражения /10/

$$E(u) = \frac{qN}{2\epsilon} r - \frac{[u + \frac{qN}{4\epsilon}(r_2^2 - r_1^2)]}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad /2/$$

Из рисунка видно, что при напряжении 2300 В напряженность электрического поля у р $^+$ -контакта больше 100 В/мм, что обеспечивает хорошие условия собирания носителей на электродах.

Энергетическое разрешение детектора, для которого приведены значения его параметров, показано на рис. 6 и 7.

В заключение отметим, что описанная технология позволяет создавать коаксиальные детекторы из сверхчистого германия с энергетическим разрешением, близким к предельному.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Н.Н.Калининой и С.И.Минькову за помощь в изготовлении детекторов и необходимой оснастки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tavendal A.J. Nucl. Instr. Meth., 1970, 84, pp. 314-316.
2. Rex C. Trammell IEEE trans. Nucl. Sci., 1978, vol. NS-25, 2, p. 910.
3. Llacer J., Kraner H.W. Nucl. Instr. Meth., 1972, 98, pp. 467-475.
4. Kraner H.W. et al. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1975, vol. NS-22, p. 149.
5. Richard H. Pehl IEEE Trans. Nucl. Sci., 1978, NS-25, 2, p. 902.
6. Baertsch R.D. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1971, NS-18, 1, p. 166.
7. Llacer J. Nucl. Instr. Meth., 1972, 98, 2, p. 259-260.
8. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р13-6759, Дубна, 1972.
9. Raudorf J.W., Trammell R.C. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1979, NS-26, p. 1, 298.
10. Cho Z.H., Llacer J. Nucl. Instr. Meth., 1972, 98, p. 461-466.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 июня 1982 года.



Жаргал Ч. и др. Коаксиальные детекторы из сверхчистого германия 13-82-397

Описана технология изготовления коаксиальных детекторов из сверхчистого германия, обеспечивающая изготовление детекторов с параметрами, близкими к предельным. Энергетическое разрешение изготовленных детекторов для  $E_{\gamma} = 122$  кэВ - 1,2 кэВ, для  $E_{\gamma} = 1332$  кэВ - 1,9 кэВ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Zhargal Ch. et al. Coaxial Detectors from Ultrapure Germanium 13-82-397

The technology of fabrication of coaxial detectors for ultrapure germanium which provides the fabrication of detectors with parameters close to limit ones, is described. Their energy resolution for  $E_{\gamma} = 122$  keV - 1.2 keV, for  $E_{\gamma} = 1332$  keV - 1.9 keV.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.