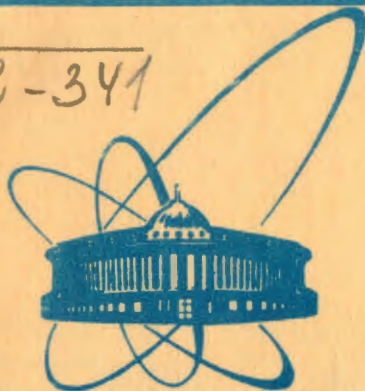


ЖС-341



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

4664/2-81

14/9-81

P6-81-413

Ч.Жаргал, Ким Зай Те, А.Лятушински,
Б.П.Осипенко, Я.Юрковски

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ
НА ОСНОВЕ СВЕРХЧИСТОГО ГЕРМАНИЯ

1981

В работах^{1,2/} сообщалось об использовании в спектрометрии электронов конверсии и мягких гамма-квантов имплантированных и поверхностно-барьерных детекторов из компенсированного литием германия. Отмечалась также целесообразность изготовления детекторов для этих целей из сверхчистого германия. Возросший в последнее время интерес к детекторам из сверхчистого германия обусловлен, с одной стороны, рядом их преимуществ по сравнению с традиционными Ge(Li) - детекторами - отсутствием компенсированной литием области, возможностью их хранения при комнатной температуре, сравнительной простотой изготовления, с другой - тем, что сверхчистый германий стал более доступен.

Нами была поставлена задача разработать технологию, позволяющую с достаточной надежностью и воспроизводимостью изготавливать детекторы из сверхчистого германия.

Распределение электрического поля в детекторах из сверхчистого германия зависит от разностной концентрации примеси в объеме материала, поэтому для изготовления детекторов с достаточной шириной чувствительной области необходим материал с низкой плотностью примесной концентрации, кроме того, технология изготовления детекторов должна обеспечивать высокие рабочие напряжения.

Ширина чувствительной области детектора определяется выражением

$$W = (2\epsilon \dot{V} / eN)^{1/2} = K(V/N)^{1/2}, \quad /1/$$

где V - обратное напряжение; N - плотность разностной концентрации примеси в объеме материала; ϵ - диэлектрическая проницаемость в германии; e - заряд электрона.

Экспериментальные результаты хорошо согласуются со значениями, полученными из этого выражения, поэтому, пользуясь выражением /1/ или номограммой /рис.1/, построенной на основе этого выражения, можно подобрать необходимые параметры исходного материала, чтобы изготовить детектор с заданной шириной чувствительной области.

Объединенный институт
ядерных исследований
Дубна
БИБЛИОТЕКА

Обратное
напряжение
/В/

Толщина
чувствительной
области /мм/

Емкость
детектора
/пФ/см²/

Эффективная
разностная концент-
рация примеси /см⁻³/

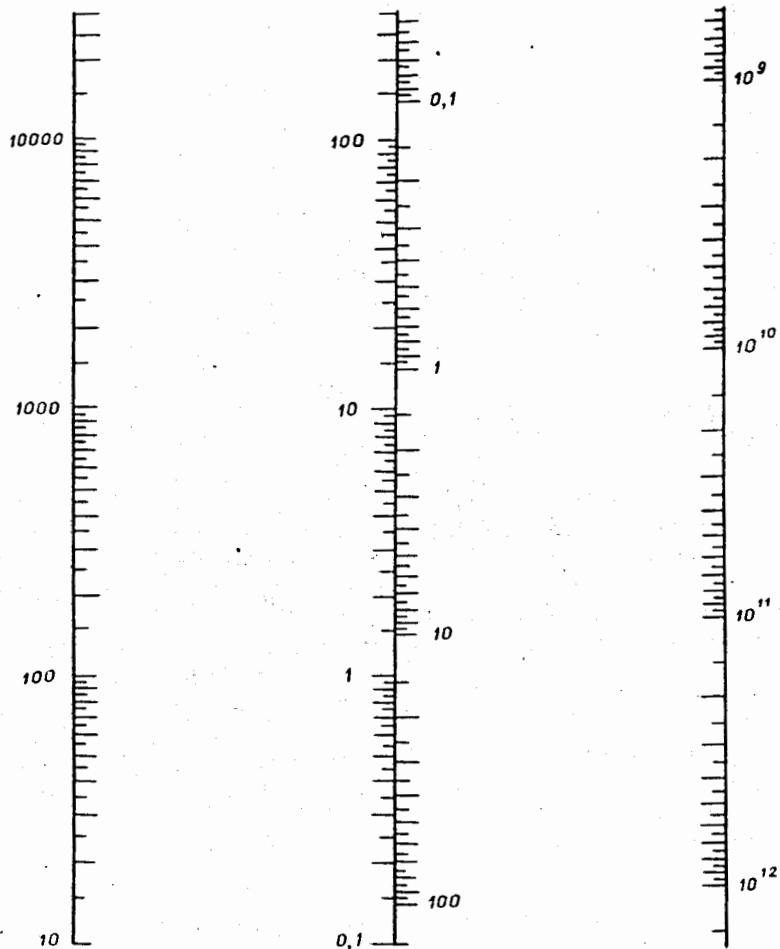


Рис.1. Номограмма для определения параметров детекторов из сверхчистого германия.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТЕКТОРОВ

В литературе описана технология изготовления n^+ -контакта на материале p -типа диффузией Li различными способами^{3,4,6/} вакуумным напылением германия^{5/} или имплантацией фосфора^{7/} и p^+ -

контакта с помощью окисления поверхности и последующего напыления Pd и Au на окисленную поверхность или имплантацией бора^{7/}.

Лучшие результаты были получены при использовании следующих способов изготовления детекторов. Кристаллы сверхчистого германия резались на плоскопараллельные шайбы, толщина которых в зависимости от разностной концентрации примеси определялась из номограммы /рис.1/. После чего образцы шлифовались, промывались и обезжиривались обычным способом и изготавливался n^+ -контакт. Для этого на центр образца напылялось золото с соответствующим диаметром и проводилась диффузия золота при температуре 340°C в течение 10 мин в вакууме. На золото - пленку напылялся металлический Li и проводилась диффузия Li через золото на глубину 0,5 мм при температуре 340°C. Все операции выполнялись в одной вакуумной камере без нарушения вакуума. После диффузии Li на образце вырезалась защитная канавка на глубину 2/3 толщины образца со стороны n^+ -контакта и изготавливался p^+ -контакт. После защиты контакта детектор травился в охлажденном травителе CP-4 дважды до зеркального блеска. Окисление поверхности для p^+ -контакта делалось по способу, описанному в работе^{6/}. На окисленную поверхность напылялся тонкий слой Au и Pd. У детектора защищались n^+ -и p^+ -контакты и травилась защитная канавка.

Изготовление облучаемого контакта методом имплантации позволяет получить тонкое "входное окно". p^+ -контакты изготавливались также внедрением ионов галлия или бора. Подготовленный образец устанавливался на коллектор электромагнитного масс-сепаратора с помощью специального держателя. Для того чтобы максимум распределения внедренных атомов находился близко от поверхности, а эффекты каналирования были минимальными, образец располагался под углом 57° к направлению пучка ионов, внедрение которых создавало омический контакт на образце в случае p -типа материала^{1,8/}.

Доза облучения составляла $5 \cdot 10^{14}$ ионов/см², а энергия внедряемых атомов 10 и 20 кэВ. Отжиг дефектов, образовавшихся при имплантации, проводился в вакууме в течение 30 мин при температуре 400°C. n^+ -контакт у детекторов изготавливался после имплантации с помощью диффузии Li вышеописанным методом, при этом происходил повторный отжиг дефектов.

Детекторы с защищенными электродами травятся, тщательно отмываются в деионизованной воде и выдерживаются в течение 2 ч в дважды перегнанном этиловом спирте.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Готовый детектор помещается в оправку с охлаждаемым каскадом предусилителя, конструкция которой описана в работе^{2/}.

Таблица

Результаты измерений характеристик детекторов, изготовленных из сверхчистого германия

Концентрация примеси ($N_A - N_D$) см^{-3}		/1-10/ · 10 ¹⁰
Контакты	n^+	Диффузия Li
	p^+	Окисление и напыление Au или Pd. Имплантация Ga или В.
S /мм ² / d /мм/ V _{раб} /В/		20-200 5-10 1000-2800
X	5,9 кэВ	200-270
	13,9 кэВ	280-320
	59,6 кэВ	380-400
ΔE /эВ/ ^y	122 кэВ	450-500
	662 кэВ	1100-1150
	1333 кэВ	~1600
e	975,6 кэВ	1530-1600

Криостат с установленной в нем головкой откачивается и охлаждается. Для измерений использовались предусилители с резистивной или стоковой обратной связью.

В таблице показаны результаты измерений характеристик детекторов, изготовленных по различным технологиям.

Рабочее напряжение детекторов в 2-3 раза выше напряжений, необходимых для того, чтобы растянуть чувствительный слой на всю толщину кристалла, при этом "входные окна" позволяют использовать такие детекторы для спектрометрии заряженных частиц и рентгеновского излучения с энергией ниже 6 кэВ.

На рис.2-5 представлены фрагменты спектров изотопов ⁵⁵Fe, ²⁰⁷Bi, ²⁴¹Am и ⁵⁷Co.

Чем ниже энергия измеряемых рентгеновских излучений, тем больше отличается разрешение по энергии от предельного. На энергиях выше 60 кэВ энергетическое разрешение практически у всех детекторов одинаково, независимо от использованной технологии, размеров детекторов и материала, из которого они изготовлены.

ИМП/КАНАЛ

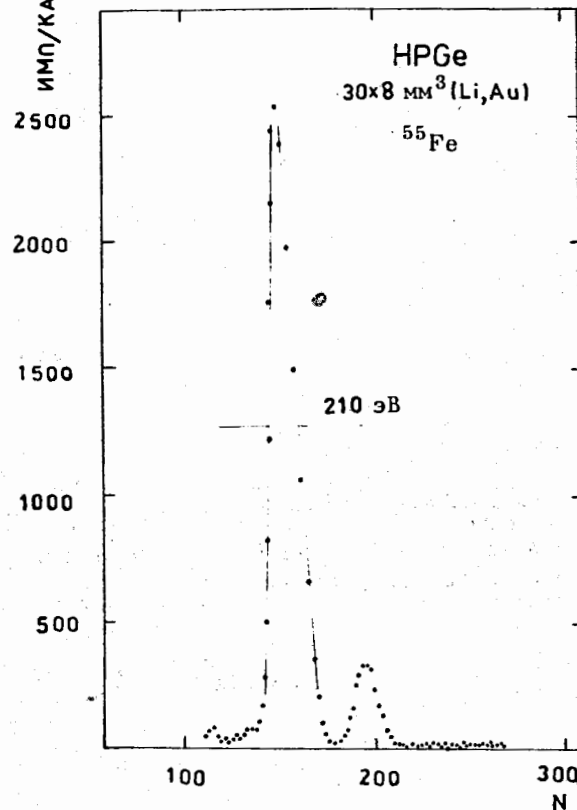


Рис.2. Фрагмент спектра изотопа ⁵⁵Fe, измеренный детектором из сверхчистого германия.

Очевидно, что для предварительного усиления сигнала необходимо использовать более качественную электронику. Для изготовления детекторов высокого качества необходим германий с различной концентрацией примеси меньше 10¹¹ см⁻³.

Многочисленное охлаждение детекторов до температуры жидкого азота, нагрев их до комнатной температуры, замена криостатов, оправки и электроники и длительное хранение при комнатной температуре не приводили к заметному ухудшению характеристик детекторов.

Изготовленные таким образом детекторы с успехом могут быть использованы в спектрометрии рентгеновских, мягких γ -излучений и бета-частиц.

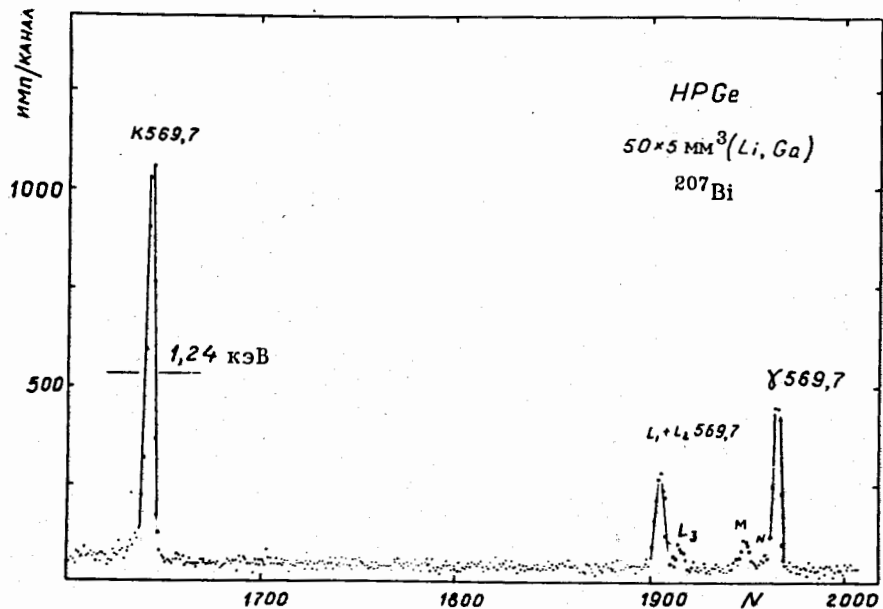


Рис.3. Фрагмент спектра изотопа ^{207}Bi , измеренный детектором из сверхчистого германия.

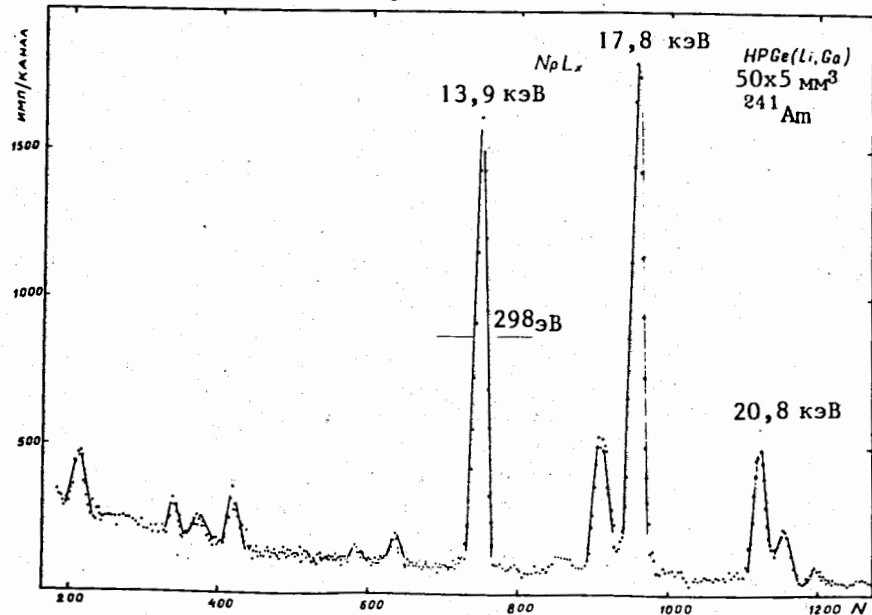


Рис.4. Фрагмент спектра изотопа ^{241}Am , измеренный детектором из сверхчистого германия.

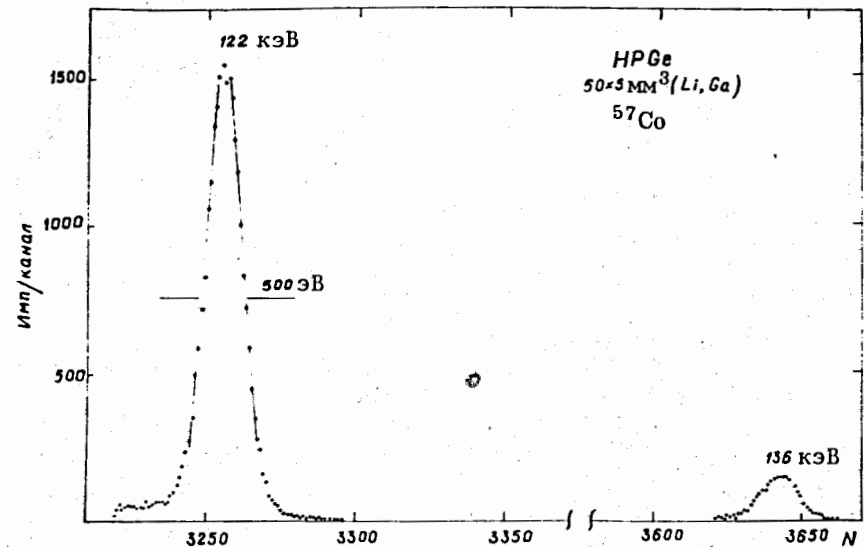


Рис.5. Фрагмент спектра изотопа ^{57}Co , измеренный детектором из сверхчистого германия.

В заключение авторы благодарят Н.Н.Калинину за помощь в изготовлении детекторов и Т.Лякуса за помощь в проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р6-8378, Дубна, 1974.
2. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, 13-10056, Дубна, 1976.
3. Llacer J. Nucl. Instr. and Meth., 1972, 98, p.259.
4. Llacer J. Nucl. Instr. and Meth., 1972, 104, p.249.
5. Hansen W.L., Haller E.E. IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1977, 24, No.1, p.61.
6. Ewins J., Llacer J. IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1974, 21, No.1, p.370.
7. Riepe G., Protic D. Nucl. Instr. and Meth., 1979, 165, p.31.
8. Киселевич М. и др. ОИЯИ, 14-8304, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 июня 1981 года.