

С 344.1м

А-724

ИТЭ, 1966, № 6,
с. 185-187.

22/1-66.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2487



А.С. Антонов, Л.Г. Юскеселиева

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИИ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ОБЛАСТИ
ГЕРМАНИЕВЫХ p-i-n-ДЕТЕКТОРОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1965

P-2487

А.С. Антонов, Л.Г. Юскеселива

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИИ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ОБЛАСТИ
ГЕРМАНИЕВЫХ p-i-n-ДЕТЕКТОРОВ

Направлено в ПТЭ

3892/1 48.

Институт физики
и химии
и
Институт физики
и химии

В в е д е н и е

Германиевые $p-i-n$ -детекторы^{/1,2,3/}, полученные путем дрейфа лития в электрическом поле $p-n$ -перехода, получили большое применение в γ -спектроскопии благодаря высокому разрешению по энергии γ -квантов и несложной аппаратуре. Технология получения германиевых $p-i-n$ -детекторов приблизительно такая же, как и технология кремниевых $p-i-n$ -детекторов^{/4/}. Одним из самых важных параметров германиевых $p-i-n$ -детекторов является ширина скомпенсированной литием области или i -области. Как известно из исследований кремниевых $p-i-n$ -детекторов^{/5,8/}, ширину i -области можно определить, если из глубины залегания $p-n$ -перехода после дрейфа вычесть глубину залегания $p-n$ -перехода до начала дрейфа или сразу после диффузии лития. Так как механизм диффузии лития в германии и кремнии одинаков и коэффициенты диффузии лития в обоих полупроводниках близки между собой^{/7/}, то можно ожидать, что такая ситуация будет иметь место и в германии.

Авторы настоящей работы предлагают измерять ширину скомпенсированной области в германиевых $p-i-n$ -детекторах путем проявления pn -перехода с помощью сухих и жидких электрофотографических проявителей. Для этой цели использован метод, разработанный ими на кремнии^{/5,8/}. Электрофотографический метод проявления $p-n$ -перехода очень простой и быстрый. Это качество особенно важно для германия, так как в нем литий выпадает быстро из раствора при комнатной температуре и наступает расформирование pn -перехода. Поэтому всякие процедуры по измерению при комнатной температуре параметров германиевых $p-i-n$ -детекторов должны быть короткими.

В работе^{/2/} ширина скомпенсированной области германиевых $p-i-n$ -детекторов определяется по формуле, выведенной Пеллом^{/4/}

$$d = \left[\frac{2De U t}{kT} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где D - коэффициент диффузии лития, U - приложенное к детектору во время дрейфа обратное напряжение, t - время дрейфа, k - константа Больцмана, T - абсолютная температура и e - заряд электрона.

В ^{/2/} ширину i -области d определяют еще и из измерения емкости детектора, считая его плоским конденсатором с емкостью:

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi d} \quad (2)$$

где S - поверхность $p-n$ -перехода, ϵ - диэлектрическая проницаемость полупроводника. Исследования кремниевых $p-i-n$ -детекторов показывают, что выражения (1) и (2) слишком приближительны. Это тем более относится к германиевым $p-i-n$ -детекторам, в которых свободные носители (не учитываемые при выводе (1) и (2)) оказывают более существенное влияние на механизм дрейфа.

Электрофотографический метод всегда дает реальную ширину скомпенсированной области, поэтому он может быть очень полезен для практического контроля дрейфа, а также для исследования механизма дрейфа в германиевых $p-i-n$ -детекторах.

Предварительные эксперименты

Был использован германиевый детектор, полученный по технологии, указанной в ^{/9/}. Исходный германиевый монокристалл p -типа проводимости (легированный гелием) имел специфическое сопротивление $\rho = 7$ ом.см, плотность дислокаций $N = 3000$ см⁻² и время жизни основных носителей $\tau = 600$ мксек. Условия дрейфа были таковы: напряжение $U = 17$ в, температура $T = 53^\circ\text{C}$, время дрейфа $t = 36$ ч. Дрейф проводился в хлороформе. После окончания дрейфа торцевая поверхность детектора шлифовалась со всех сторон и детектор принял форму прямоугольной пластинки с размерами $4,9 \times 5,7$ мм и толщиной $3,3$ мм. На детектор наносились медные электроды ^{/10/} для омического контакта. Торцевая поверхность травилась в смеси: $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{CH}_3\text{COOH} = 1:2:1^x$. В таком виде проявлялся $p-n$ -переход детектора с помощью электрофотографических проявителей.

x) Все описанные выше операции являются необходимыми для дальнейшей работы детектора.

Описание электрофотографического метода

А. Проявление сухими электрофотографическими проявителями

Устройство для проявления электрофотографическими проявителями очень простое. Оно показано на рис. 1: детектор 1 зажимается в оправе 2 между двумя электродами 3, которые связываются с источником постоянного напряжения 4. Электрофотографический проявитель 5 ставится в кювете 6. Процесс проявления $p-n$ -перехода осуществляется таким образом: к детектору прикладывается в запирающем направлении небольшое напряжение ≈ 40 в, а сам детектор приводится в соприкосновение с электрофотографическим проявителем путем легкого механического натирания в направлении, указанном на рис. 1.

Как известно ^{/11/}, сухие электрофотографические проявители содержат две компоненты: проявляющую часть - мелко диспергированную и окрашенную смолу и носитель - обычно маленькие стеклянные шарики, металлизированные сверху. Благодаря трибоэлектрическому эффекту частицы смолы и частицы носителя электризуются противоположным зарядом. В позитивном сухом электрофотографическом проявителе ПС-1 частицы смолы несут положительный заряд, и если проявление $p-n$ -перехода осуществляется таким проявителем, они откладываются на области отрицательного пространственного заряда, т.е. на p -области $p-n$ -перехода (рис. 2). Весь процесс проявления занимает всего лишь несколько секунд. После проявления напряжение выключается и глубина $p-n$ -перехода измеряется микроскопом. Потом оставшийся проявитель легко стирается ватой с поверхности детектора и этот последний пригоден для дальнейших исследований без дополнительной обработки поверхности.

Аналогичным образом проявляется $p-n$ -переход сухим негативным электрофотографическим проявителем БСТ-3. В этом случае отрицательно заряженные частицы смолы (проявляющей части) откладываются на области положительного пространственного заряда, т.е. на n -области $p-n$ -перехода (см. рис. 3).

Б. Проявление жидким электрофотографическим проявителем

Процесс проявления $p-n$ -перехода жидким электрофотографическим проявителем осуществляется с помощью того же устройства, показанного на рис. 1. Для улучшения картины проявления поверхность детектора, содержащая $p-n$ -переход, шлифуется тщательно карборундовым микропорошком. Детектор зажимается в оправе и к нему прикладывается напряжение (10-20 в) в обратном направлении. Капелька сильно разряженного жидкого электрофотографического проявителя (100 мг типографской краски, растворенной в 1 л бензина) наносится пипеткой на проявляемую поверхность. Положительно заряженные коллоидные частицы краски откладываются на p -области $p-n$ -

перехода, т.е. на области отрицательного пространственного заряда (рис. 4). После высыхания бензина напряжение выключается и глубина $p-n$ -перехода измеряется микроскопом. Процесс проявления жидким электрофотографическим проявителем длится приблизительно одну минуту. Оставшийся после этого проявитель стирается ватой, смоченной чистым бензином или спиртом.

Обсуждение результатов и выводы

Основным достоинством электрофотографического метода проявления $p-n$ -перехода в германиевых $p-i-n$ -детекторах является его простота и быстрота. Метод сухого проявления не требует никакой обработки торцевой поверхности детектора, так как не изменяет его электрические свойства^{х)}. Для проявления $p-n$ -перехода жидким электрофотографическим проявителем требуется шлифовка проявляемой поверхности. Этот недостаток, однако, компенсируется большей чувствительностью и точностью жидкого способа.

Метод сухого электрофотографического проявления $p-n$ -перехода сравнивался на одном и том же германиевом детекторе с методом электрохимического отложения меди^{/12/}. Полученные двумя сухими проявителями и электрохимическим отложением меди средние значения глубины $p-n$ -перехода приведены в таблице 1.

Ошибка в определении границы $p-n$ -перехода при сухом проявлении такая же, как и при электрохимическом отложении меди и равна приблизительно 20 мкм. При жидком проявлении точность в выявлении границы перехода обуславливается практически только точностью шлифовки поверхности. Ошибка в проведенных авторами экспериментах составляла меньше 10 мкм.

Измерение ширины чувствительной области в германиевых $p-i-n$ -детекторах с помощью электрофотографии может быть использовано с успехом для практического контроля процесса дрейфа ионов лития, а также для изучения механизма дрейфа.

Авторы выражают благодарность Б.П.Осипенко за оказанное содействие.

^{х)} Этот вопрос был исследован на кремниевых $p-i-n$ -детекторах^{/5/}, которые имеют свойства, очень близкие к свойствам германиевых $p-i-n$ -детекторов.

Т а б л и ц а 1

Сравнение метода сухого проявления $p-n$ -перехода с методом электрохимического отложения меди

	Сухим позитивным электрофотографическим проявителем ПС-1	Сухим негативным электрофотографическим проявителем БСТ-3	Электрохимическим отложением меди
Средняя глубина $p-n$ -перехода w (мм)	1,204	1,240	1,280

Л и т е р а т у р а

1. A.J.Tavendale, G.T.Ewan, Nucl. Instr. and Methods, 25, 185 (1963).
2. A.J.Tavendale, Nucl. Electronics, Proc. of Int. Symposium, European N.E.A. Paris, 1963, p.235
3. A.J.Tavendale, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-11, no.3, 191 (1964).
4. E.M.Pell. J. Appl. Phys., 31, 291 (1960).
5. А.С. Антонов, Л.Г. Юскеселиева. Препринт ОИЯИ 2232, Дубна 1965.
6. А.С. Антонов. Препринт ОИЯИ 2242, Дубна 1965.
7. C.Fuller, J.Severins, Phys. Rev., 96, no.1, 21 (1954).
8. А.С. Антонов, Л.Г. Юскеселиева. Препринт ОИЯИ Р-2002, Дубна 1965.
9. G.L.Miller, B.D.Pate, S.Wagner, IEEE Proc. NS-10, no.1, 220 (1963).
10. D.Turnur, J.Electrochem. Soc., 106, 787 (1959)
11. Н.И. Жилевич, Е.Л.Немировский. Электрофотография, "Искусство", Москва, 1961.
12. А.С. Антонов, Б.П. Осипенко, Л.Г. Юскеселиева. Препринт ОИЯИ, Р-1726, Дубна 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 декабря 1965 г.

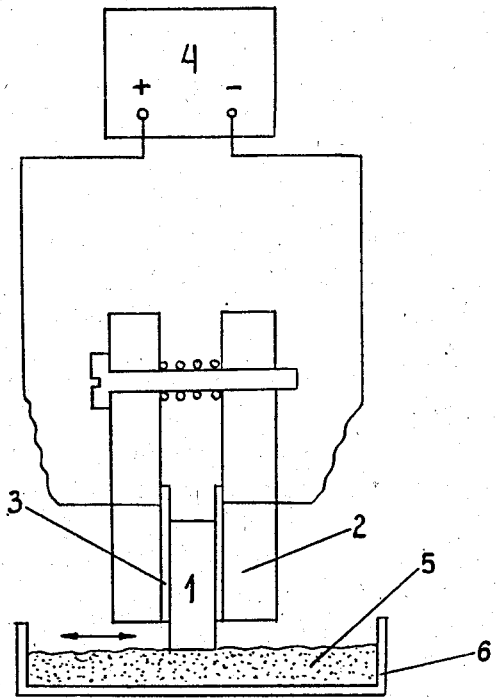


Рис. 1. Схема устройства для проявления р-п-перехода в германиевых р-і-п-детекторах с помощью электрофотографических проявителей: 1 - детектор; 2 - оправа; 3 - электроды; 4 - источник постоянного напряжения; 5 - сухой электрофотографический проявитель; 6 - кювета.

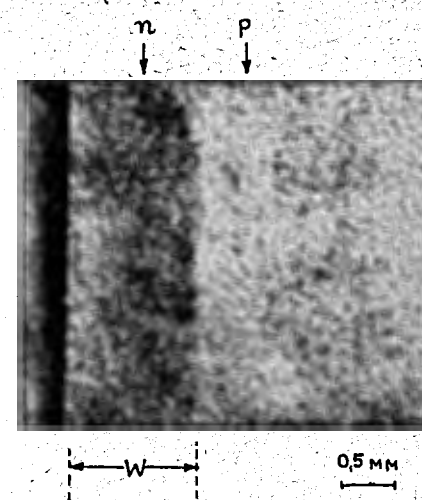


Рис. 2. Картина дрейфового р-п-перехода в германиевом р-і-п-детекторе, полученная сухим позитивным электрофотографическим проявителем ПС-1. Частицы проявителя откладываются на р-области р-п-перехода. Напряжение обратного смещения 35 в.

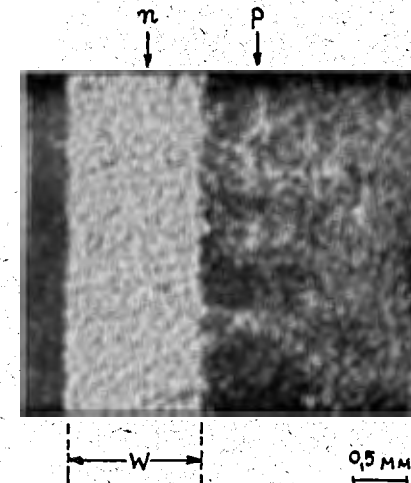


Рис. 3. Картина дрейфового р-п-перехода в германиевом р-і-п-детекторе, полученная сухим негативным электрофотографическим проявителем БСТ-3. Частицы проявителя откладываются на п-области р-п-перехода. Напряжение обратного смещения - 35 в.

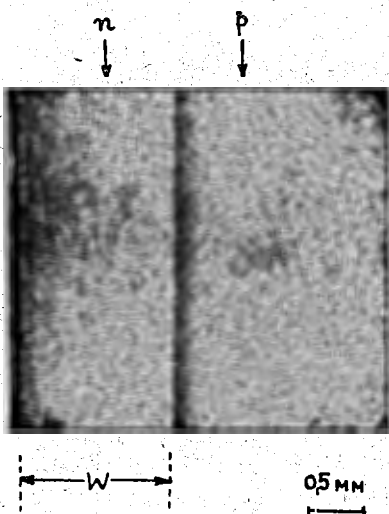


Рис. 4. Картина дрейфового $p-n$ -перехода в германиевом $p-i-n$ -детекторе, полученная жидким электрофотографическим проявителем. Частицы краски откладываются на p -области перехода. Обратное смещение - 10 в.