

с 344.1м

А-924

3/IV-65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2028



А.С. Антонов

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ
ПРИМЕСЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
В ОБЛАСТИ ДРЕЙФА
КРЕМНИЕВЫХ $p-i-n$ -ДЕТЕКТОРОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

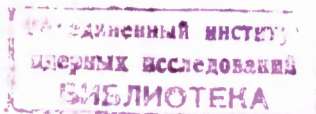
1965

2028

А.С. Антонов

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ
ПРИМЕСЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
В ОБЛАСТИ ДРЕЙФА
КРЕМНИЕВЫХ р - i - n - ДЕТЕКТОРОВ

Направлено в ПТЭ



В в е д е н и е

Кремниевые р - i - n - детекторы^{/1,2/} получили в последнее время большое применение в ядерной физике. Однако несмотря на многие работы по исследованию параметров этих детекторов, механизм их формирования, т.е. механизм дрейфа лития в кремнии р - типа, еще не выяснен полностью. В этом отношении особый интерес представляет вопрос о распределении концентрации примесей и электрического поля в области дрейфа. Этому вопросу и посвящена настоящая работа.

1. Определение концентрации примесей в области дрейфа

Как известно из электрохимического проявления переходов в кремниевых р - i - n - детекторах^{/3/}, р - n - переход находится на границе между i - и р - областями. Если прикладывается напряжение U в запирающем направлении по отношению к р - n - переходу, то в нем появляется область пространственного заряда. При предположении, что мы можем пренебречь^{x)} свободными носителями, плотность этого заряда будет равна $\rho = e(N_D - N_A)$, где N_D и N_A - концентрации доноров и акцепторов, а e - заряд электрона.

На рис. 1 показано предполагаемое распределение концентрации примесей $N(x) = N_D - N_A$ в кремниевом р - i - n - детекторе. На этом рисунке x_p и x_n представляют собой границы области пространственного заряда, а вертикальными штриховыми линиями отмечены границы р -, i - и n - областей детектора.

Падение напряжения в р - n - переходе выражается^{/4/} уравнением:

$$U + U_k = \frac{4\pi e}{\epsilon} \int_{x_p}^{x_n} N(x) x dx, \quad (1)$$

где U_k - контактная потенциальная разность в р - n - переходе, а ϵ - диэлектрическая проницаемость полупроводника.

Уравнение (1) выведено при предположении, что переход в целом нейтрален, т.е.

$$\int_0^{x_p} N(x) dx = \int_0^{x_n} N(x) \cdot dx. \quad (2)$$

Из (1) и (2) путем дифференцирования, считая при этом x_p и x_n параметрами, получается выражение:

x) Случай, когда пренебрегают свободными носителями в области пространственного заряда, называется в литературе случаем полностью истощенного р - n - перехода.

$$|N(x_n)| = \left| \frac{dU}{dx_n} \right| \cdot \frac{\epsilon}{4\pi e |x_n - x_p|} \quad (3)$$

Так как в n -области донорные и акцепторные примеси взаимно компенсируются, можно предположить, что выполняется соотношение $|N(x_n)| \ll |N(x_p)|$ при любых значениях x_n и x_p . Тогда из (2) следует, что $|x_n| \gg |x_p|$. Обозначив, $\delta = |x_n - x_p| \approx x_n$, получаем вместо (3) следующее уравнение:

$$|N(\delta)| = \left| \frac{dU}{d\delta} \right| \cdot \frac{\epsilon}{4\pi e \delta} \quad (3')$$

Известно также^{/5/}, что емкость запятого $p-n$ -перехода представляется выражением:

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi |x_n - x_p|} = \frac{\epsilon S}{4\pi \delta} \quad (4)$$

где S - площадь $p-n$ -перехода.

Измерив емкость детектора при разных обратных напряжениях, из выражения (4) можно определить зависимость $\delta = \delta(U)$. Из этой зависимости получается, путем графического дифференцирования^{/6/}, производная $\frac{dU}{d\delta}$. Наконец, с помощью выражения (3') можно найти концентрацию примесей в области дрейфа в любой точке на любом расстоянии δ от $p-n$ -перехода.

II Определение распределения электрического поля в области дрейфа

Распределение электрического поля можно найти из уравнения Пуассона:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e}{\epsilon} N(x) \quad (5)$$

при граничных условиях

$$E_{x=x_p} = E_{x=x_n} = 0 \quad (6)$$

Для этой цели надо заменить в выражении (5) величину $N(x)$ экспериментально найденной величиной $N(\delta)$ (см. (3')). Решение уравнения (5) при граничных условиях (6) можно произвести графически^{/6/}.

III Экспериментальные результаты и следствия

Были исследованы кремниевые $p-n$ -детекторы, полученные по обычной технологии^{/1/}. После окончания дрейфа лития детекторы хорошо травилась в смеси азотной и плавиковой кислот. Зависимость емкости от обратного напряжения снималась резонансным методом для измерения емкости и индуктивности. Перед изме-

рением емкости детекторы выдерживались в течение 18 часов в пространстве с высушителем, а затем к ним прикладывалось обратное напряжение ≈ 100 в в продолжение 1,5 часов. Все это время детекторы находились в полной темноте. Описанные выше операции являлись необходимыми для получения повторимости в измерениях емкости.

Концентрация примесей определялась по изложенному в разделе I способу. После этого, с целью контроля, проявлялись переходы детекторов с помощью электрохимического отложения меди^{/3/}. Результаты для двух образцов приведены на рис. 2 и рис. 3. Для обоих образцов дрейф лития шел при температуре 137°C и напряжении, прикладываемом к детектору, 200 в. Время дрейфа для образца №6 было 70 часов, а для образца №3 - 24 часа. Исходный материал был p-кремний, специфическим сопротивлением ≈ 1000 ом.см.

По описанному в разделе II способу было определено распределение электрического поля в области дрейфа для образца №6. Результаты показаны на рис. 4 для трех прикладываемых к детектору напряжений.

Из кривых на рис. 4 мы вычислили величину $\lg [E_m - E(\delta)]$, где E_m - электрическое поле на границе p-n-перехода. Эта величина является функцией только расстояния δ от перехода (см. рис. 5). Обозначим эту функцию буквой f . В общем случае она будет зависеть и от времени дрейфа t . Заменяя δ на x , получаем тогда, что электрическое поле в области дрейфа можно представить выражением:

$$E(x,t) = E_m(U,t) - e^{f(x,t)},$$

где E_m является функцией приложенного к детектору напряжения и времени дрейфа.

В ы в о д ы

1. В настоящей работе впервые получено экспериментальным путем распределение концентрации примесей в области дрейфа кремниевых p-i-n-детекторов. Показано, что в реальных условиях дрейфа концентрация примесей $N(\delta) = N_D - N_A$ растет с увеличением расстояния δ от p-n-перехода. Кривая нарастания становится очень крутой при приближении к границе между i-n областями.

2. В работе определяется распределение электрического поля в области дрейфа. Показано, что оно отличается от равномерного распределения и наряду с величиной электрического поля уменьшается с увеличением расстояния δ от p-n-перехода.

Из этого следует, что в реальных условиях т.е. при мертвого слоя оказывается большей, чем при идеальных. Расхождение между реальным мертвым слоем

и идеальным тем больше, чем больше прикладываемое к детектору напряжение.

3. В работе получено общее выражение для электрического поля в области дрейфа.

Автор выражает свою сердечную благодарность руководителю группы В.П.Осипенко за оказанное содействие и интерес, проявленный к работе.

Л и т е р а т у р а

1. E.M.Pell, J.Appl. Phys., 31, 2, 291 (1960).
2. J.H.Elliot, Nucl. Instr. Methods, 12, 1, 60 (1961).
3. А.С.Антонов, В.П.Осипенко, Л.Г.Юскеселнева, Препринт ОИЯИ, Р-1726, Дубна, 1984.
4. W.Shockley, Bell Syst. Techn. J., 28, 435 (1949).
5. Л.С.Берман. Нелинейная полупроводниковая емкость. Физматгиз, Москва, 1963.
6. А.Уорсянг, Д.Гэффнер. Методы обработки экспериментальных данных, ИЛ, Москва, 1953.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 февраля 1985 г.

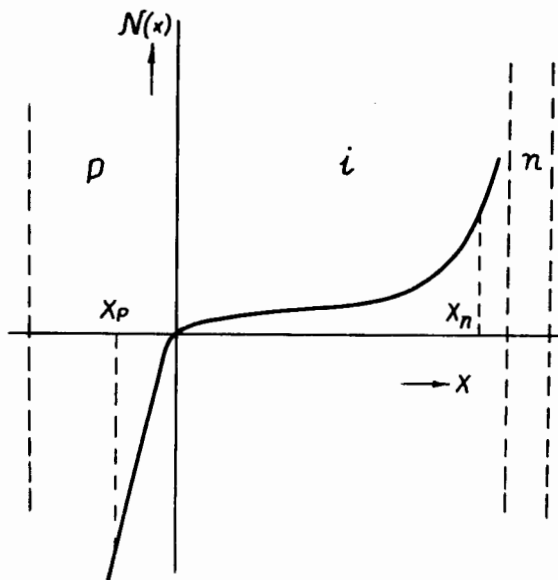


Рис. 1. Предполагаемое распределение концентрация примесей в кремниевом p-i-n-детекторе.

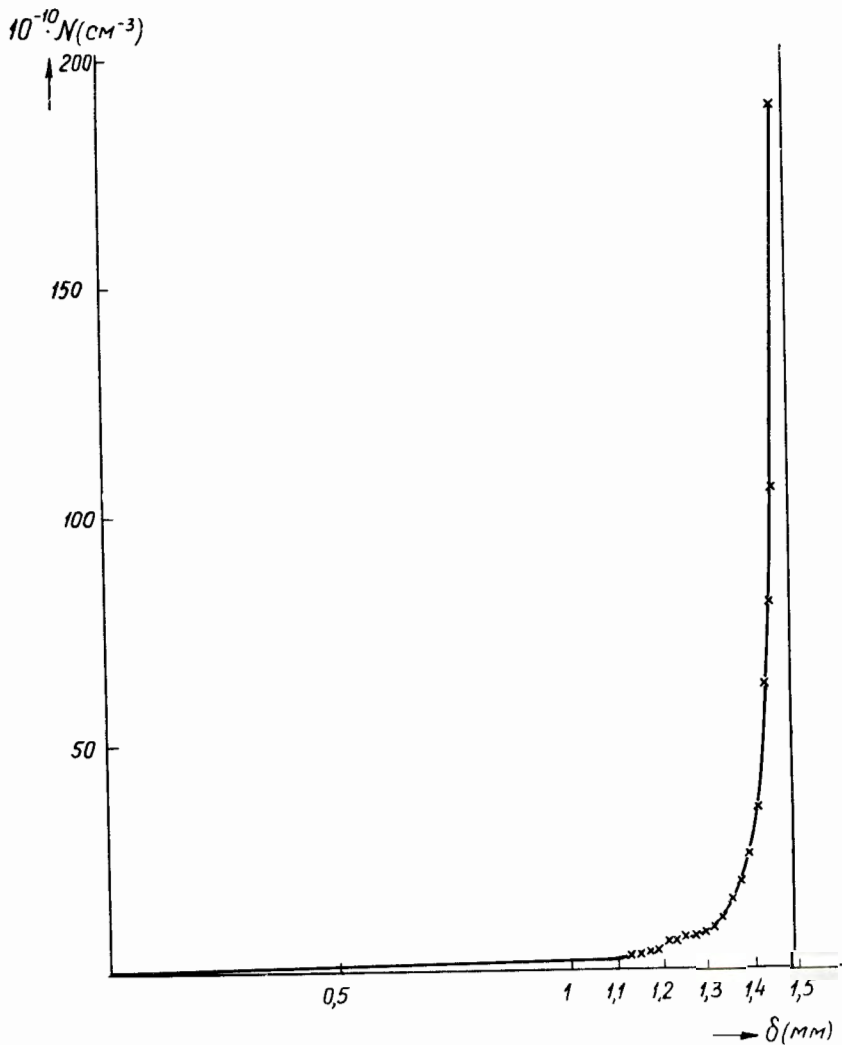


Рис. 2. Полученное экспериментально распределение концентрации примесей в области дрейфа для образца № 6. Вертикальной линией справа обозначена граница между i - и p -областями, полученная с помощью электрохимического отложения меди³⁷.

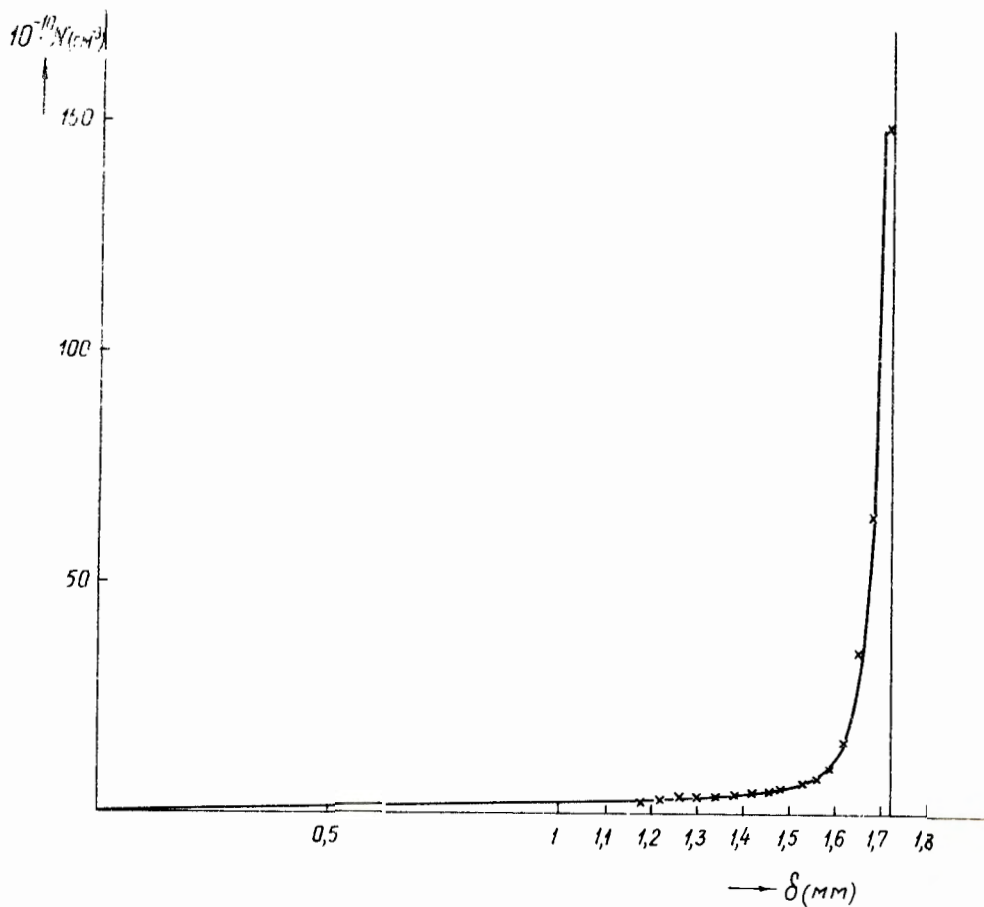


Рис. 3. Полученное экспериментально распределение концентрации примесей в области дрейфа для образца №3. Вертикальная прямая справа имеет то же значение, что и на рис. 2.

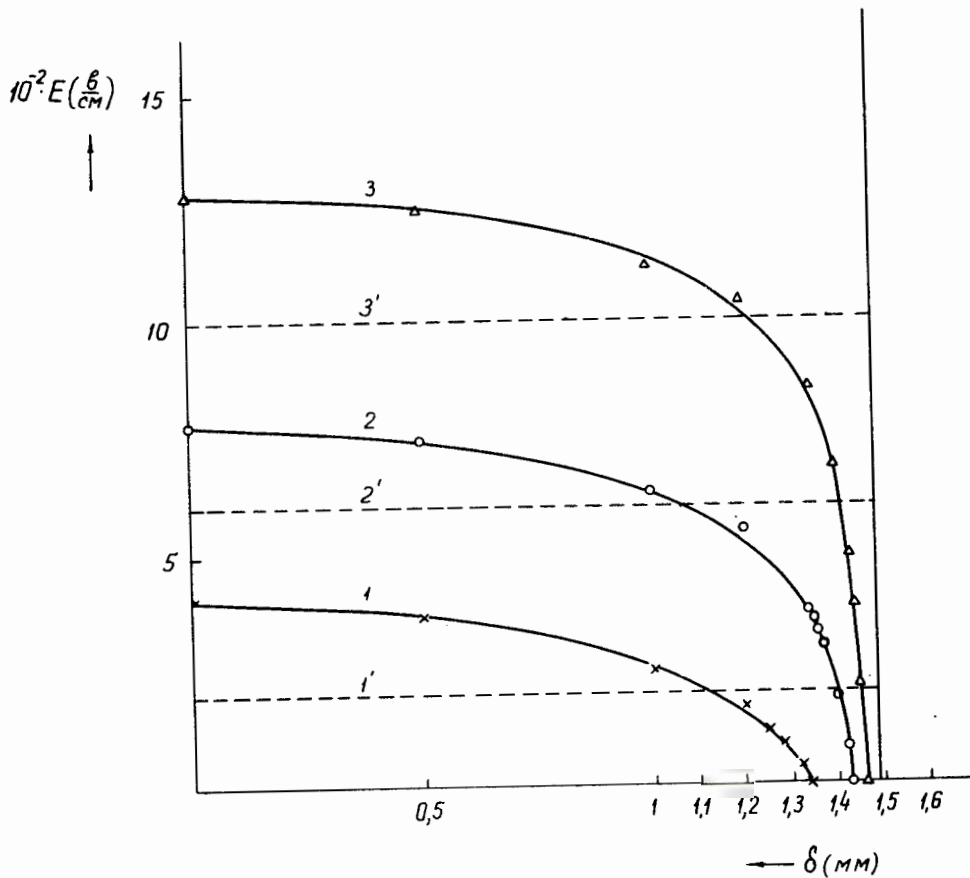


Рис. 4. Распределение электрического поля в области дрейфа для образца №8. Кривые 1, 2 и 3 получены при напряжениях, прикладываемых к детектору, величиной соответственно в 30, 90 и 150 в. Штриховыми линиями 1', 2' и 3' обозначено распределение электрического поля, которое существовало бы при указанных напряжениях, если бы примеси в области дрейфа были полностью компенсированы.

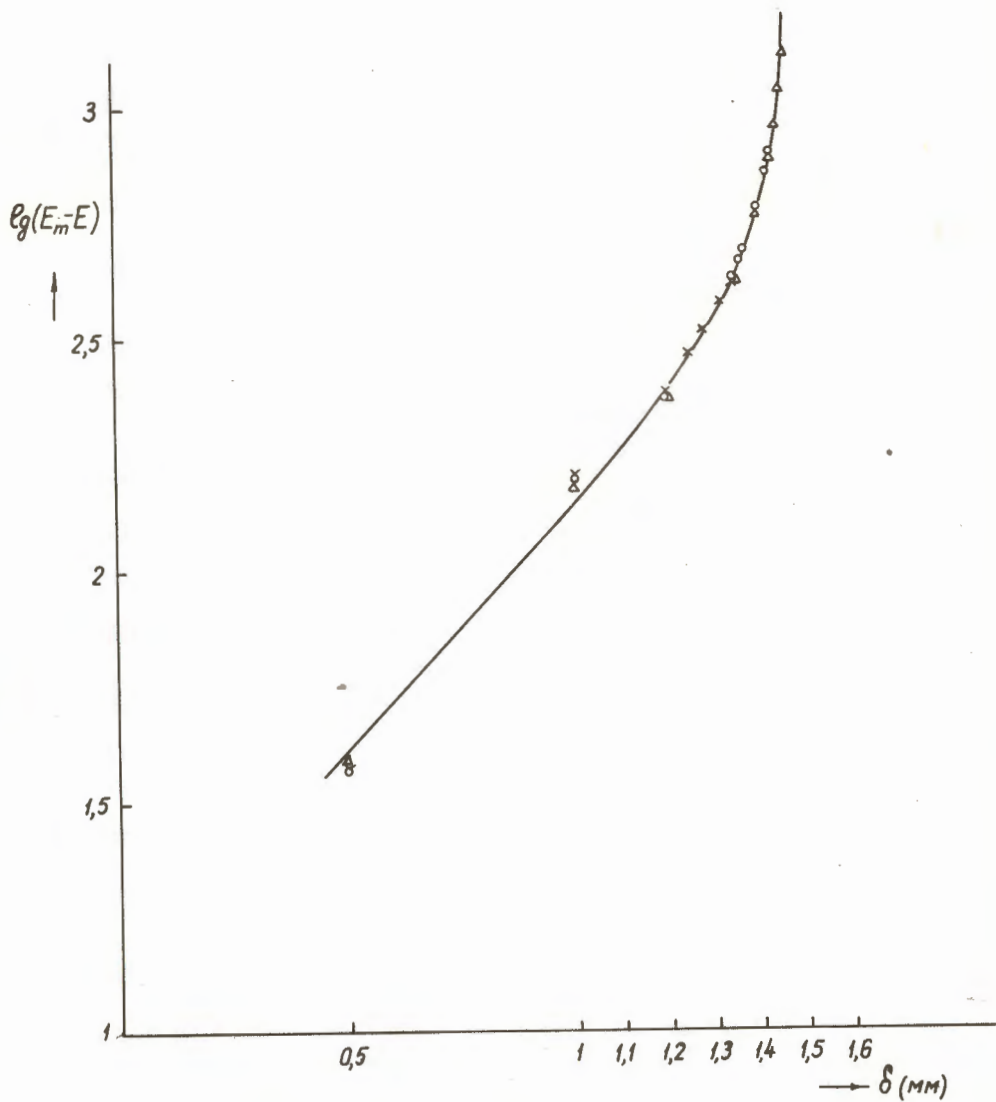


Рис. 5. Зависимость величины $\lg|E_m - E(\delta)|$ от расстояния δ . Отдельные точки получены из следующих кривых: x - из кривой 1, o - из кривой 2 и Δ - из кривой 3.