

© 361  
Д-124

20/III-65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1

P-2002



А.С. Антонов, Л.Г. Юскеселиева

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ p-n ПЕРЕХОДА В КРЕМНИИ  
С ПОМОЩЬЮ ЖИДКИХ  
ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЯВИТЕЛЕЙ

ВАН Сеев, 1965, т. 64,  
н. 6, с. 1260-1262.

1965

P-2002

А.С. Антонов, Л.Г. Юскеселиева

ИССЛЕДОВАНИЕ р-п ПЕРЕХОДА В КРЕМНИИ  
С ПОМОЩЬЮ ЖИДКИХ  
ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЯВИТЕЛЕЙ

Направлено в ДАН

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

3026/6 48

$$|N(x_p)| = \left| \frac{dU}{dx_p} \right| \cdot \frac{\epsilon}{4\pi e |x_p - x_n|} \quad (6)$$

Из (5) и (6) можно определить концентрацию примесей  $N(x)$  в области  $p-n$  перехода, если известно, как изменяются с приложенным напряжением толщины областей положительного и отрицательного пространственного заряда  $-x_n$  и  $x_p$ .

Благодаря присутствию пространственного заряда в  $p-n$  переходе, оказывается возможным выявить переход и исследовать его с помощью жидких электрофотографических проявителей.

Нами были исследованы  $p-n$  переходы в кремнии  $p$ -типа, полученные путем диффузии лития.

Выявление границы  $p-n$  перехода осуществлялось следующим образом:

К переходу прикладывалось напряжение  $\sim 80$  в в запирающем направлении. Жидкий электрофотографический проявитель /4/ был нанесен в виде капли на хорошо отполированную (под прямым углом к поверхности  $p-n$  перехода) поверхность. Для увеличения четкости проявления был применен дополнительный электрод /4/. Частицы проявителя, несущие положительный заряд, отлагались на  $p$ -области перехода (рис.2). Оказалось, что точность в проявлении границы перехода зависит только от точности шлифовки. Ошибка в проведенных экспериментах составляла меньше 10 мкм.

С целью проявления области отрицательного пространственного заряда были созданы условия для оседания частиц проявителя только на этой области. Результаты показаны на рис. 3 для трех приложенных напряжений.

Так как для  $p$ -области исследуемого  $p-n$  перехода выполняется соотношение  $N_d \gg N_a$ , то толщина области отрицательного объемного заряда оказывается больше толщины области положительного заряда, и тогда  $x_p - x_n = \delta = x_p$ . В этом случае равенство (6) преобразуется в следующее:

$$|N(x_p)| = \frac{\epsilon}{2\pi e} \left| \frac{dU}{d(\delta^2)} \right| \quad (7)$$

Зависимость  $U(\delta^2)$ , полученная экспериментально с помощью жидкого электрофотографического проявителя, показана на рис. 4 для четырех образцов. Как видно из рисунка, зависимость является линейной. Этот факт нетрудно объяснить, потому что в нашем случае концентрация доноров в  $p$ -области перехода падает очень круто до нуля и  $|N(x_p)| = |N_d - N_a| = N_d$ . Тогда из (7) следует, что  $\frac{dU}{d(\delta^2)} = \text{const}$ .

Из наклона прямых на рис. 4 с помощью (7) была определена концентрация акцепторов  $N_a$  в кремнии. Результаты приведены в таблице 1 для восьми образцов. В первой и во второй колонке таблицы приведены для сравнения концентрации акцеп-

торов, вычисленных из специфического сопротивления кремния (при предположении, что все акцепторные примеси полностью ионизированы) и по измерению емкости  $p-n$  перехода /5/. Как видно из таблицы, результаты, полученные тремя различными способами, близки между собой. Этот факт подтверждает объективность предлагаемого метода. Кроме того, метод электрофотографии  $p-n$  перехода обладает чрезвычайной простотой и быстротой, которые делают его удобным и перспективным. По-видимому, этот метод может быть применен с успехом и на других полупроводниковых материалах.

Авторы выражают глубокую благодарность руководителю группы Б.П.Осипенко, доктору физико-математических наук В.М. Фридкину и кандидату физико-математических наук А.Б. Дравину за детальное обсуждение работы и за оказанное содействие. Авторы признательны также Л.Б.Крейнину за интерес, проявленный к их работе.

Т а б л и ц а 1  
Концентрация акцепторов  $N_a$  в кремнии  $p$ -типа

Образец №	$10^{-13} N_a$ (см. <sup>-3</sup> )		
	По специфическому сопротивлению	По измерению емкости /5/	По электрофотографии $p-n$ перехода
1	1,77	-	1,08
2	1,86	1,77	3,21
3	1,84	1,84	0,68
4	2,33	2,18	1,1
8	4,23	3,47	1,42
9	4,83	5,78	4,01
11	6,32	-	14,8
12	7,15	-	3,22

Л и т е р а т у р а

1. W.Shockley. Bell System Techn. J., 28, 3, 435-489 (1949).
2. S.P.Morgan, F.M.Smits. Bell System Techn. J., 39, 6, 1573-1602 (1960).
3. Г.Клейнкнехт, К.Зейлер. Кремниевые монокристаллы и р-п переходы. Сб. "Полупроводниковые преобразователи энергии излучения", ИЛ, Москва, 1959, 122-146.
4. И.И.Жилевич, Е.Л.Немировский. Электрофотография, "Искусство", Москва, 1961.
5. Л.С.Берман. Нелинейная полупроводниковая емкость. Физматгиз, Москва, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 февраля 1965 г.

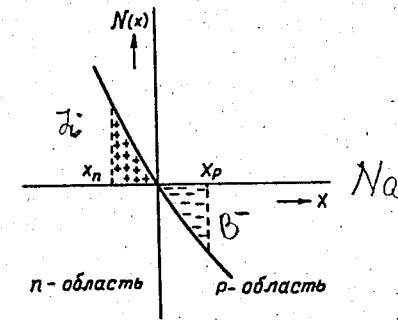
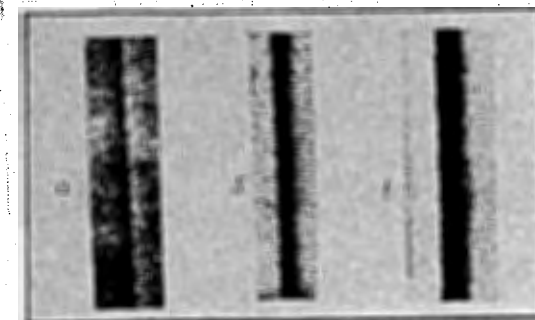


Рис. 1. Распределение концентрации примесей  $N(x) = N_d - N_a$  в области р-п перехода.



↑ n    ↑ p    — 0,5 мм

Рис. 2. Картина р-п перехода в кремнии; проявленная жидким электрофотографическим проявителем.



— 0,5 мм

Рис. 3. Картина области отрицательного пространственного заряда, проявленная жидким электрофотографическим проявителем при напряжениях: а) 1,3 в; б) 50 в и в) 80 в.

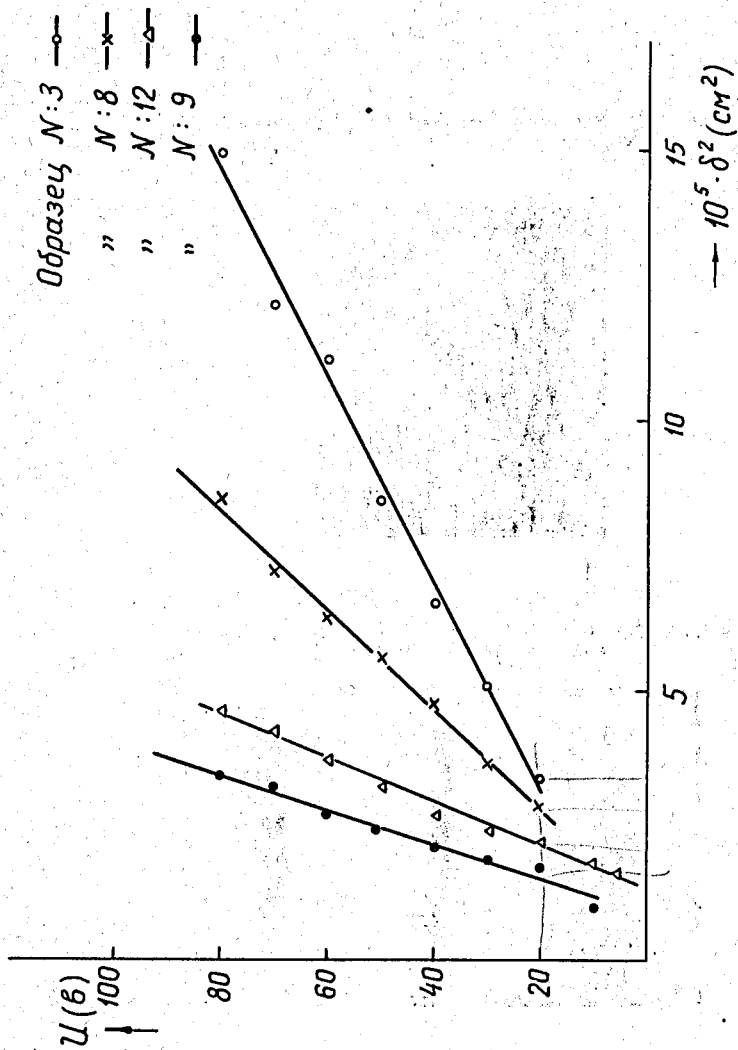


Рис. 4. Зависимость обратного напряжения, прикладываемого к р-л переходу от квадрата толщины области пространственного заряда.