

05.1;06.2

©1994

СТИМУЛИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ ПЕРЕЗАРЯДКА ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ В Si ПРИ ЛАВИННОМ ПРОБОЕ

С.Б.Ластовский, И.Г.Марченко

Как известно (см., например, [1,2]) вольт-амперная характеристика (ВАХ) в начальной области пробоя обратносмещенных диодных структур с глубокими уровнями (ГУ) может иметь участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС) S -типа. Считается, что причина этого эффекта связана с релаксационной задержкой пробоя и изменением во времени максимального поля в области объемного заряда (ООЗ), вызванного перезарядкой ГУ. Ранее [3] подобное явление мы наблюдали при исследовании диодов с радиационными дефектами (РД) в области низких температур. В настоящей работе обнаружено исчезновение S -образности на ВАХ $p-n$ переходов с ГУ, измеряемой в режиме плавного изменения напряжения в процессе воздействия электронного облучения.

Исследовались диффузионно-сплавные $p-n$ переходы ($S \approx 4 \text{ мм}^2$) в корпусах на n -Si (БКЭФ) с $\rho \approx 0.2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ (p -область КДБ — 0.015) и напряжением пробоя $U_b = 100 \text{ В}$ (300 К). ВАХ регистрировались при 77 К на двухкоординатном самописце при подаче на образец обратного смещения с постоянной скоростью нарастания 40 В/с. Эксперимент с облучением проводился в два этапа. На первом — ускоренные электроны с $E = 4 \text{ МэВ}$ и интенсивностью $\varphi = 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ использовались для введения в образцы стабильных РД до концентраций, обеспечивающих S -образную ВАХ при низкой температуре. Облучение велось при $T \leq 300 \text{ К}$ до дозы $\Phi = 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, характеристики снимались после облучения. На втором этапе облученные образцы ($\Phi = 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$) подвергались кратковременному воздействию электронов с той же энергией, но при различной интенсивности потока ($\varphi = 1 \cdot 10^{10}, 1.5 \cdot 10^{10}, 2 \cdot 10^{10} \dots 1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$). В этом случае ВАХ записывались непосредственно в процессе облучения, причем включение электронного пучка осуществлялось синхронно с началом подачи напряжения смещения. Время нахождения образца в зоне облучения при каждой фиксированной (средней)

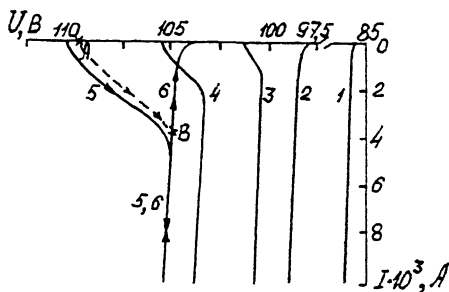


Рис. 1. ВАХ исходных образцов с РД (2-5) и без них (1) при $T = 77$ К: 2 — $\Phi = 2 \cdot 10^{16}$, 3 — $6 \cdot 10^{16}$, 4 — $8 \cdot 10^{16}$, 5 — $3 \cdot 10^{17}$ см $^{-2}$. Стрелками показано направление изменения тока. Кривая 5 получена при изменении напряжения от нуля к U_B , а кривая 6 — в обратном направлении.

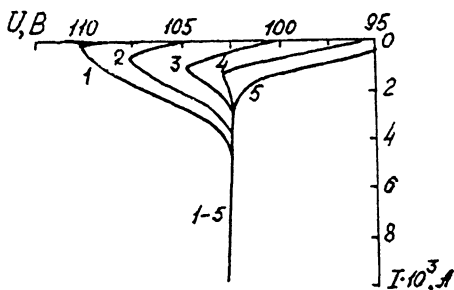


Рис. 2. ВАХ, измеренные при 77 К в процессе облучения при различной интенсивности электронного потока: 1 — $\varphi = 2.5 \cdot 10^{10}$, 2 — $5 \cdot 10^{10}$, 3 — $7 \cdot 10^{10}$, 4 — $9 \cdot 10^{10}$, 5 — $2.0 \cdot 10^{11}$ см $^{-2}$ с $^{-1}$.

интенсивности было ограничено временем записи характеристики и составляло 5 с.

На рис. 1 приведены характеристики, снятые после облучения и набора образцами определенной дозы. Видно, что по мере накопления РД глубина S -образности растет, а сама ВАХ сдвигается в область больших напряжений. Как было установлено в [3], основной вклад в возникновение ОДС у электронно-облученных p - n переходов на "бескислородном" Si дают E -центры ($E_c = 0.44$ эВ), уровень которых в базовой области диода при 77 К заполнен электронами. Попадая в 003, в процессе пробоя он опустошается и зависимость тока от напряжения принимает обычный вид (рис. 1, кривая 6).

Рис. 2 иллюстрирует влияние электронного облучения различной интенсивности на p - n переходы с ГУ. Как видно из приведенных здесь кривых, снятых в процессе облучения, воздействие электронов с $\varphi \leq 4 \cdot 10^{10}$ см $^{-2}$ с $^{-1}$ практически

не изменяет вид ВАХ. С увеличением $\varphi > 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ наблюдается рост тока в предпробойной области и уменьшение S -образности. Дальнейшее увеличение φ приводит к исчезновению участка ОДС. После прекращения облучения измеряемая характеристика принимает свой первоначальный вид (рис. 1, кривая 5).

Был реализован еще один способ наблюдения ВАХ в процессе облучения. Его суть заключается в том, что к моменту включения пучка электронов p - n переход уже находился под обратным смещением. Величина смещения составляла 0.95–0.98 от значения U_v (этому значению напряжения соответствует точка A на кривой 5, рис. 1). При включении пучка с $\varphi \geq 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ характеристика скачком переходит из точки A в точку B (кривая 6).

Полученные результаты можно интерпретировать следующим образом. Известно [4], что при электронном облучении идет интенсивная ионизация полупроводника. Можно предположить, что при достаточно высокой скорости генерации электронно-дырочных пар, их перераспределение обратносмещенным p - n переходом может привести к перезарядке за счет захвата дырок [1] некоторой части отрицательно заряженных E -центров в ООЗ еще до пробоя. При этом потребуются приложить меньшее напряжение для начала лавинного размножения носителей и опустошения оставшейся части ловушек. Вид ВАХ при $\varphi = 2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (рис. 2, кривая 5) может свидетельствовать, по-видимому, о том, что при $\varphi \geq 2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ все E -центры, попадающие в ООЗ, опустошаются до пробоя.

Таким образом, в работе показано, как достаточно простым способом проследить связанное с перезарядкой ГУ исчезновение ОДС в p - n переходах при лавинном пробое в процессе электронного ($E = 4 \text{ МэВ}$) облучения. Детальное изучение механизма влияния электронной ионизации на пробой p - n переходов с ГУ представляется перспективным для создания новых методов регистрации интенсивных потоков проникающих излучений.

Авторы благодарят Ф.П.Коршунова за постоянное внимание к работе, а В.Т.Трощинского и Н.Е.Ждановича за полезные обсуждения результатов.

Список литературы

- [1] Кузьмин В.А., Кюрезян А.С. // Радиотехника и электроника. 1975. Т. 20. В. 7. С. 1449-1456.
- [2] Вилисов Л.А., Гаман В.И., Диамант В.М., Фукс Г.М. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 4. С. 625-628.
- [3] Коршунов Ф.П., Марченко И.Г., Ластовский С.Б. // ДАН Беларуси. 1990. Т. 34. В. 2. С. 112-114.
- [4] Ваецлов В.С., Утин Н.А. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах. М.: Атомиздат, 1969. 312 с.

Институт физики
твердого тела и полупроводников
Минск

Поступило в Редакцию
19 ноября 1993 г.
