

ОБ ОТРИЦАТЕЛЬНОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ КОЭФФИЦИЕНТЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОБОЯ В КАРБИДКРЕМНИЕВЫХ P-П ПЕРЕХОДАХ

М.М. Аникин, С.Н. Вайнштейн,
М.Е. Левинштейн, А.М. Стрельчук,
А.Л. Сыркин

Уже в ранних исследованиях лавинного пробоя в карбиде кремния было обнаружено, что при направлении поля E , параллельном гексагональной оси $C(E||C)$, температурный коэффициент напряжения пробоя (ТКН) отрицателен [1]: напряжение пробоя уменьшается с ростом температуры. В ряде работ (см., например, [2]) отрицательный знак ТКН был объяснен, исходя из представления о „минизонном“ спектре зоны проводимости гексагональных политипов SiC . Недавно в работе [3] при исследовании пробоя в политипе $6H-SiC$ наблюдался положительный ТКН. Такой результат находится в очевидном противоречии с объяснением отрицательного знака ТКН, исходя из фундаментальных зонных свойств SiC .

Полученный в [3] результат может быть объяснен тем, что отрицательный знак ТКН в гексагональных политипах SiC при $E||C$ связан с наличием глубоких уровней, практически всегда присутствующих в запрещенной зоне SiC в концентрации $N \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

Хорошо известно, что наличие глубоких уровней может приводить к изменению знака ТКН с положительного на отрицательный. Такой эффект наблюдался неоднократно в кремнии (см., например, [4]).

В настоящей работе описываются экспериментальные результаты, свидетельствующие в пользу такого предположения.

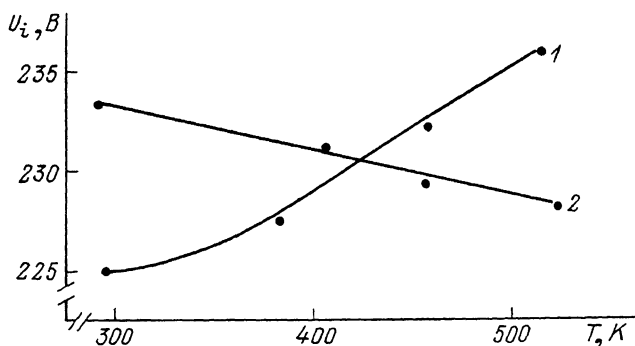


Рис. 1. Зависимость импульсного (1) и на постоянном токе (2) напряжения пробоя от температуры для одного из образцов.

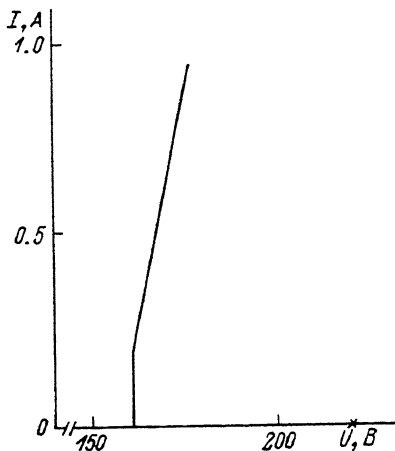


Рис. 2. Импульсная вольт-амперная характеристика для одного из образцов. Знаком „х“ отмечена величина U , при которой на постоянном токе наблюдается неконтролируемое нарастание тока и деградация структуры.

Исследовались $6H-SiC$ p^+p-p^+ структуры диаметром 120 мкм, сформированные аналогично [3]. Слой p -типа толщиной 3–5 мкм выращивался на p^+ -подложках „сэндвич“-методом в открытой ростовой системе. Концентрация примесей ($N_d - N_a$)

составляла $(1-3) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. p^+ -слой толщиной порядка 0,2 мкм формировался ионной имплантацией алюминия. Ось C перпендикулярна плоскости $p-p$ перехода (поле $E \parallel C$).

В образцах с $(N_d - N_a) \approx 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ наблюдался как квазиоднородный, так и микроплазменный пробой. Напряжение квазиоднородного пробоя U_i составляло 130–150 В. ТКН $\beta = \frac{1}{U_i} \frac{dU_i}{dT}$ при квазиоднородном пробое отрицателен и составляет $\sim 1 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$.

В большинстве образцов пробой имеет микроплазменный характер. Для исследования отбирались образцы с напряжением пробоя $U_i > 120 \text{ В}$, т.е. те, в которых величина U_i близка к напряжению квазиоднородного пробоя. При микроплазменном пробое наблюдался как отрицательный, так и положительный ТКН. Отрицательные значения β близки к наблюдаемым при квазиоднородном пробое. При положительном ТКН β составляет $(2-3) \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$.

При $(N_d - N_a) \sim 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ значение U_i составляет (240–350) В. Наблюдается только микроплазменный пробой. При этом в ряде случаев при измерениях на постоянном токе наблюдается отрицательный ТКН ($\beta \sim 1 \cdot 10^{-1} \text{ К}^{-1}$). На тех же образцах при измерениях на коротких (длительностью $\tau \sim 70 \text{ нс}$) импульсах при практически том же напряжении пробоя ТКН положителен и составляет $(2-3) \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ (рис. 1).

В некоторых случаях наблюдалась большая разница между значениями напряжения пробоя, определенными на постоянном токе и на импульсах (рис. 2). При измерениях ВАХ на постоянном токе на таких образцах вплоть до напряжений $U \sim 230-250 \text{ В}$ пробой не наблюдался, ток, протекающий через образец, меньше $\sim 10^{-8} \text{ А}$. При дальнейшем очень небольшом увеличении U ток неконтролируемо возрастал до величины, ограниченной сопротивлением нагрузки R_H , включенным последовательно с образцом. При этом образец деградирует даже при величине R_H порядка 10^6 Ом . При измерении ВАХ на импульсах ($\tau \sim 70 \text{ нс}$, $f \approx 300 \text{ Гц}$) пробой наблюдается при напряжении $U_{ip} \approx 160-180 \text{ В}$.

Наблюдения в образцах, изготовленных в совершенно идентичных условиях как положительного, так и отрицательного ТКН, значительная разность между величинами напряжения пробоя на импульсах и на постоянном токе, разный знак ТКН при импульсных измерениях и на постоянном токе совершенно определенно свидетельствуют об определяющем влиянии глубоких центров на характеристики лавинного пробоя в SiC р-п переходах [4, 5].

Хорошо известно, что присутствие глубоких центров может уменьшить положительное значение ТКН и даже привести к смене знака β с положительного на отрицательный [4, 5]. Однако довольно сложно представить себе обратную ситуацию, когда наличие глубоких уровней может увеличить положительное значение β или привести к смене знака β с отрицательного на положительный. Полученные результаты позволяют поэтому предположить, что в чистых гексагональных образцах SiC „решеточное” значение β и при ЕИС положительно, как и во всех остальных известных полупроводниках. Наличие глубоких центров может приводить к появлению отрицательного ТКН за счет известных механизмов [4-6].

Л и т е р а т у р а

- [1] Gramberg G., Königler M. - Solid State Electron., 1972, v. 15, N 3, p. 285-292.
- [2] Дмитриев А.П., Константинов А.О., Литвин Д.П., Санкин В.И. - ФТП, 1983, т. 17, № 6, с. 1093-1098.
- [3] Аникин М.М., Лебедев А.А., Попов И.В., Стрельчук А.М., Суворов А.В., Сыркин А.Л., Челноков В.Е. - ФТП, 1986, т. 20, № 5, с. 844-848.
- [4] Коршунов Ф.П., Марченко И.Г. - ФТП, 1983, т. 17, № 12, с. 2201-2203.
- [5] Астрова Е.В., Волле В.М., Воронков В.Б., Козлов В.А., Лебедев А.А. - ФТП, 1986, т. 20, № 11, с. 2122-2125.
- [6] Кюрегян А.С. - ФТП, 1987, т. 21, № 5, с. 941-944.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
23 декабря 1987 г.