

ГИСТЕРЕЗИС ЛАВИННОГО ТОКА В КРЕМНИЕВЫХ p-n-ПЕРЕХОДАХ ПРИ 2 К

О.А. К о т и н

Вымораживание носителей в полупроводниках при температурах 2–4,5 К является причиной интересных явлений, связанных с ударной ионизацией примесных атомов [1] и экситонов [2]. Эти явления наблюдались только при гелиевых температурах в электрических полях $\sim 10\text{--}100$ В/см и несколько отодвинули на второй план результаты, полученные для ударной ионизации собственных атомов полупроводника при низких температурах. Собственно, основной результат – увеличение прикладываемого к структуре напряжения U_B , необходимого для начала лавинного умножения с понижением температуры ниже 30 К, объяснялся необходимостью предварительной ионизации примесных атомов в полупроводнике [3]. Эта точка зрения и сейчас широко распространена [4]. Однако такое объяснение не согласуется с результатами работы [5], в которой заметной зависимости поля E_i , необходимого для ударной ионизации примесных атомов, от температуры в интервале 4.2–20.4 К замечено не было. С целью разрешения этого противоречия были проведены исследования, результаты которых даны в настоящей работе.

Создание поля $E_u \sim 10^5$ В/см, при котором начинается ударная ионизация собственных атомов полупроводника (лавинный пробой) при 2 К, возможно в резких p-n-переходах, если предварительно произошел примесный пробой. Структуры типа p^+-p-p^+ изготавливались диффузией бора в кремниевые пластины с $\rho = 0.1\text{--}0.5$ Ом·см и при 300 К имели напряжение лавинного пробоя $U_{B0} = 20\text{--}50$ В. Площадь p-n-переходов составляла ~ 0.5 см². Высоколегированные p^+ -слои имели концентрацию бора $> 10^{19}$ см⁻³, что обеспечивало их высокую проводимость при низких температурах. Толщина p^+ -слоя в центральной области p-n-перехода составляла ~ 1 мкм, а на периферии ~ 7 мкм, как это показано на рис. 1. Толщина базы W составляла ~ 200 мкм. Омические контакты изготавливались втиранием Ga с микропорошком SiC. Для проверки их качества в каждом эксперименте изготавливались по два контакта 1,2 и 3 (рис. 1). Измеренные значения сопротивления контактов при 2 К не превышали 10^{-5} Ом (на 1 см²). Статические обратные вольтамперные характеристики (ВАХ) кремниевых p^+-p- переходов при 2 К измерялись на планарных контактах 1–2. Для контроля электрического поля, при котором происходит примесный и лавинный пробой, исследовались зависимости тока через p^+-p- структуру (контакты 1–3) и ее емкости на частоте 1 кГц от приложенного напряжения, и электрические характеристики p^+-p-p^+ структуры (контакты 2–3). При напряжениях, когда примесный пробой уже произошел, вид измеренных на контактах 1–2 и 2–3 ВАХ практически не различался. Ионизация

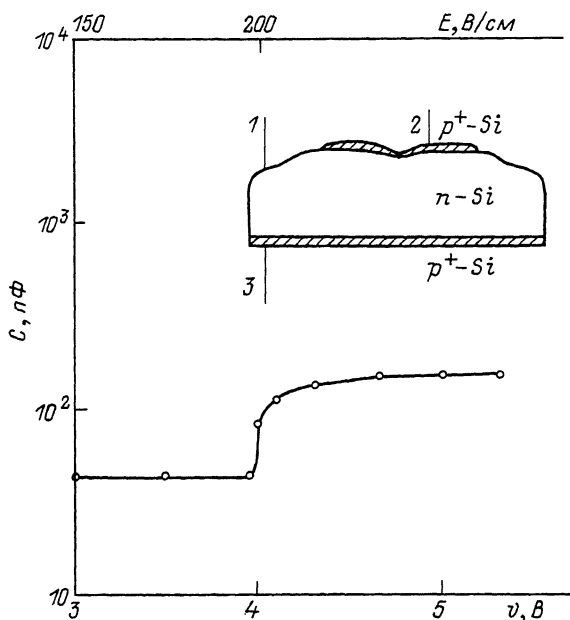


Рис. 1. Зависимость полной емкости кремниевой p^+ - p структуры ($\rho = 0.5$ Ом·см) от напряжения. На вставке - вид используемых p^+ - p - p^+ структур и контактов к ним. $T = 2$ К.

примесных атомов в базе сопровождалась скачкообразным изменением полной емкости структуры (рис. 1) и возрастанием тока через прямосмещенный p^+ - p -переход. Как и при 4.2 К [1], она происходила при $E_i \approx 200$ В/см. Напряжение U_B во всех структурах оказалось значительно выше U_{B0} и почти на порядок превышало напряжение, при котором происходит ионизация примесных атомов в базе. Это означает, что при $U \approx U_B$ примесные атомы в базе ионизованы и вклад E_i в U_B при 2 К незначителен.

Участок ВАХ кремниевых p^+ - p -переходов при 2 К в области $U \approx U_B$ показан на рис. 2. При увеличении поля наблюдается ряд гистерезисов лавинного тока с резким его спадом в конце гистерезиса более чем на порядок (линия 5-2 на рис. 2). Гистерезисы являются устойчивыми и воспроизводятся при токах одного порядка во всех образцах. Участок 1-2-3 с большим дифференциальным сопротивлением объясняется, по-видимому, наличием неоднородностей или микроплазм в данном образце.

Таким образом, экспериментальные исследования статических обратных ВАХ кремниевых p^+ - p -переходов при 2 К свидетельствуют

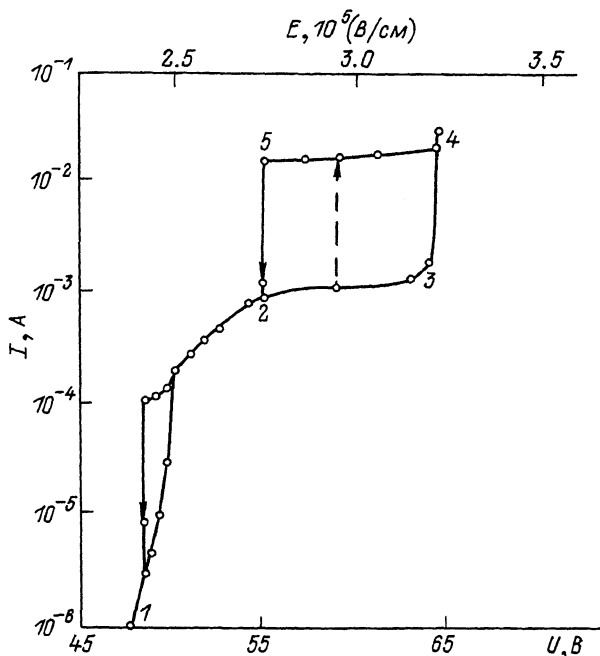


Рис. 2. Участок ВАХ в области лавинного пробоя кремниевого p^+-n перехода ($U_{B0} = 59$ В, $\rho = 0.5$ Ом·см), $T = 2$ К.

о возрастании U_B при понижении температуры ниже 30 К по причинам, не учтенным в [3]. По-видимому, при низких температурах должно сказываться отсутствие свободных носителей заряда, способных начать процесс ударной ионизации. Из трех механизмов поставки таких носителей (эмиссии с ловушек, термогенерации и туннелирования зона-зона [6]) при температурах 2–4.5 К и полях $\sim 10^5$ В/см остается существенным только последний. По нашему мнению, именно увеличение поля E_t , необходимого для термополевой эмиссии [7], определяет рост U_B при температурах ниже 30 К. В пользу этой гипотезы свидетельствует также то, что переход на верхнюю ветвь 4–5 гистерезиса осуществлялся также вспышкой света (~ 1 с) от лампы накаливания (штриховая линия на рис. 2). В условиях, когда поле в p^+-n -переходе достаточно для начала ударной ионизации собственных атомов полупроводника ($E > E_u$), лавинное умножение начинается лишь тогда, когда в область объемного заряда шириной ω инжектируются светом или термополевой эмиссией свободные носители. Напряжение, приложенное к структуре $U_B \approx E_t \omega + E_i W$. Различие между E_t и E_u приводит к возникновению гистерезисов лавинного тока в кремниевых $p-n$ -переходах при 2 К.

Автор благодарен А.С. Зубрилову, Ю.Г. Кусраеву, В.Б. Шуман за помощь в проведении экспериментов и полезные обсуждения настоящей работы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Вендик О.Г., Гайдук М.М., Козырев А.Б., Самойлова Т.Б., Зеленкевич М. // ФТТ. 1985. Т. 27. В. 3. С. 931-932.
- [2] Nö l d e k e C., M e t z g e r W., H u e b e n e r R.P., S c h n e i d e r H. // Phys. stat. sol. (b). 1985. V. 129. N 2. P. 687-695.
- [3] N u t t a l K.I., N i e l d M.W. // Int. J. Electronics. 1968. V. 24. N 1. P. 69-78.
- [4] Коршунов Ф.П., Марченко И.Г., Ластовский С.Б. // Тез. всесоюз. конф. по физике полупроводников. 1985. В. 3. С. 38-39.
- [5] Чапнин В.А. // ФТТ. 1965. Т. 7. В. 2. С. 506-512.
- [6] H a i t z R.H. // J. of Appl. Phys. 1965. V. 36. N 10. P. 3123-3130.
- [7] Карпус В., Перель В.И. // ЖЭТФ. 1986. Т. 91. В. 6. С. 2319-2331.

Поступило в Редакцию
3 июня 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 6
05.1; 06.2; 11

26 марта 1989 г.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПЛАНАРНОМ ГЕТТЕРИРОВАНИИ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР

В.В. А р т а м о н о в, М.Я. В а л а х,
Б.Н. Р о м а н ю к, И.В. Р у д с к о й,
В.В. С т р е л ь ч у к

В работе исследованы кремниевые структуры с геттерными областями на рабочей стороне пластины, сформированными в непосредственной близости к активным участкам схемы с помощью локальной имплантации ионов Az^+ и последующего наращивания пленок, так называемые планарные геттеры [1]. В этом случае реализуется неравновесная ситуация по плотности термически генерированных дефектов и, следовательно, различие в процессах формирования структурных свойств пленок в рабочей и геттерной областях.