

ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ ГОРЯЧИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКА

А.И.Климовская, О.В.Снитко

В ряде теоретических и экспериментальных работ [1] было доказано уменьшение подвижности носителей с уменьшением толщины кристалла. В работе [2] теоретически предсказано, что в сильных электрических полях может осуществляться обратная ситуация, когда подвиж-

ность носителей с уменьшением толщины возрастает. Экспериментального подтверждения существования такого эффекта нет. Известны работы, в которых обнаружено расширение области справедливости закона Ома в тонких слоях [3], однако наблюдаемое в них явление могло быть объяснено как диффузностью рассеяния [1], так и остыванием носителей на поверхности [2].

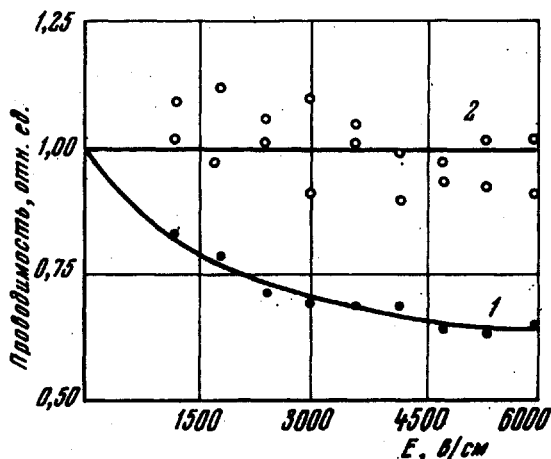


Рис.1. Относительные изменения объемной (кривая 1) и поверхностной (кривая 2) проводимостей с напряженностью электрического поля

Настоящая работа поставлена с целью экспериментальной проверки выводов [2]. В данном сообщении приводятся результаты исследования толщинной зависимости вольт-амперных характеристик в тонких приповерхностных слоях n -Si, из которых делается вывод о поглощении энергии горячих электронов поверхностью полупроводника.

Исследования проводились на монокристаллах n -Si ($\rho = 200 \text{ ом}\cdot\text{см}$) при двух фиксированных температурах (300 и 77°K). Омичность контактов, изготовленных по технологии [4], контролировалась по форме коротких импульсов тока, проходящего через образец. Для получения тонких приповерхностных слоев использовался поверхностный эффект поля [5] в режиме обогащения и в режиме сильного неравновесного обеднения.

На рис.1 представлены зависимости относительных изменений объемной и поверхностной проводимостей от приложенного к образцу тянущего электрического поля (300°K). Поверхностная проводимость создавалась внешним поперечным полем в режиме обогащения и определялась из сравнения теоретических [5] и экспериментальных зависимостей поверхностной проводимости от индуцированного заряда. Из рис.1 видно, что проводимость поверхностного слоя не зависит от приложенно-

го поля до полей 6 кВ/см с точностью до 10%. В то же время объемная проводимость заметно зависит от напряженности поля и, спадание на 10% наблюдается уже при $1,5 \text{ кВ/см}$, т.е. критические поля разогрева электронов на поверхности и в объеме отличаются не менее, чем в 4 раза.

При низких температурах толщинная зависимость вольт-амперных характеристик наблюдалась в промежуток времени восстановления равновесия после неравновесного истощения образца основными носителями. В предположении однородного распределения носителей в проводящем канале (что справедливо в области толщин канала d , превышающих

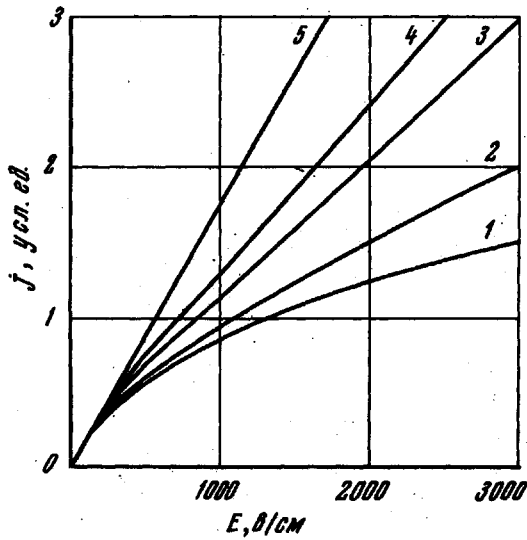


Рис.2. Зависимости плотности тока от напряженности электрического поля для различных толщин проводящих слоев: кривая 1 — $d = 100 \text{ мк}$, кривая 2 — $d = 17 \text{ мк}$, кривая 3 — $d = 12 \text{ мк}$, кривая 4 — $d = 10 \text{ мк}$. Кривая 5 получена на омическом сопротивлении, равном удельному сопротивлению образца

длину экранирования L_d) каждому сопротивлению образца можно сопоставить толщину канала. На рис.2 представлены плотности тока j как функции электрического поля E для различных толщин проводящего слоя, Кривая 1 соответствует объемной характеристике, кривые идущие выше получены для толщин $< 30 \text{ мк}$. Видно, что с уменьшением толщины проводящего канала наблюдается увеличение плотности тока, а также уменьшение кривизны характеристик, в результате при толщинах $< 10 \text{ мк}$ они приближаются к линейным. Дальнейшее уменьшение толщины приводило к существенному изменению характера

вольт-амперных зависимостей, однако было установлено, что это изменение вызвано неоднородностью тонких (~ 1 мк) слоев.

Возможными причинами справедливости закона Ома в тонких слоях могут быть: 1) диффузность рассеяния носителей заряда на поверхности, приводящая к уменьшению подвижности и сдвигу критического поля начала разогрева в область больших полей (влияние поверхности на время релаксации импульса [1]); 2) неупругость соударений носителей с поверхностью, приводящая к их охлаждению и, следовательно, увеличению подвижности в сильных полях (влияние поверхности на время релаксации энергии [2]).

Длина свободного пробега l , вычисленная по подвижности была:

1) при комнатной температуре — $2,4 \cdot 10^{-6}$ см, 2) при азотной — $2,3 \cdot 10^{-5}$ см. Сравнение l с толщинами слоев, вольт-амперные характеристики которых близки к линейным (см. рис. 1 и 2), показывает, что толщины таких слоев больше длины свободного пробега, так что поправки на уменьшение подвижности согласно [1] малы и не объясняют наблюдаемого явления.

Таким образом, эффект спрямления вольт-амперных характеристик при малых толщинах проводящих каналов может быть объяснен неупругостью соударений электронов с поверхностью. Очевидно, в тонких слоях кремния (< 1 мк при 300°K и < 10 мк при 77°K) осуществляется ситуация, когда импульс носителей рассеивается на объемных акустических фононах, а энергия — преимущественно на поверхности. Следовательно, в тонких слоях кремния наблюдается эффект, предсказанный в работе [2].

Исследование остывания носителей на поверхности, возможно, позволит, во-первых, получить объемный параметр — длину остывания электрона и, во-вторых, выяснить микромеханизм взаимодействия носителей с поверхностью. Несмотря на большое число работ [6], посвященных исследованию рассеяния в поверхностных слоях, описание этого механизма до настоящего времени носит феноменологический характер.

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию
19 декабря 1967 г.
После переработки
6 января 1968 г.

Литература

- [1] Fuchs, Proc. Cambridge. Philos. Soc., 34, 100, 1938; G.R. Schriffner, Phys. Rev., 97, 641, 1955; R.L.Petritz, J.V.Zemel. Phys. Rev., 110, 1254, 1958; R.L.Petritz, J.V.Zemel. Phys. Rev., 110, 1263, 1958; R.F.Greene, D.R.Franke, J.V.Zemel. Phys. Rev., 118, 967, 1960.
- [2] В.И.Мельников, З.Г.Грибников, Т.С.Сорокина. ФТТ, 8, № 11, 1966.
- [3] S.Martinuzzi. J.Phys., 25, № 6, Suppl., 108, 1964; С.Кальвенас, Ю.К.Пожела. ФТТ, 9, № 4, 1967.

- [4] Б.Л.Бойченко. ПТЭ, № 2, 177, 1964.
- [5] D.Many, J.Goldstein, N.B.Grover. Semiconductor surface, North-Holland publishing comp., Amsterdam, 1965.
- [6] R.F.Greene. Surf.. Sci., 2, 101, 1964.