

S-ОБРАЗНАЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА n-Si В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Л.Ф.Куртенок, С.М.Рябченко, О.Г.Сарбей

В классически сильных магнитных и греющих электрических полях при низких температурах обнаружена S-образная вольт-амперная характеристика n-Si.

Проводимость многодолинных полупроводников в сильных, но не квантующих поперечных магнитных полях увеличивается с ростом электрического поля в области греющих электрических полей при направлении тока вдоль оси высокой симметрии, в то время как в отсутствие магнитного поля она уменьшается [1, 2]. Физическую причину этого можно понять на модели двух долин, приведенной на рис. 1. Греющее электрическое поле \vec{F} будет сильнее нагревать электроны в долине A, поскольку оно направлено вдоль меньшей оси эллипсоида эффективных масс в этой долине. Это приведет к перебросу электронов в долину B, где подвижность носителей в направлении поля меньше, таким образом общая проводимость в направлении поля с ростом \vec{F} уменьшается. Магнитное поле создает холловское поле, причем при достаточно больших \vec{H} оно может стать много больше \vec{F} . Поэтому при $\mu H/c \gg 1$ это поле будет нагревать электроны в долине B сильнее, чем в долине A. Это приведет к обратному перебросу их в долину A. Поскольку в направлении поля \vec{F} подвижность в этой долине больше, то и проводимость будет увеличиваться с ростом холловского поля. Это увеличение определяется величиной производной концентрации электронов в долине A по полю dn_g/dF . Теоретически этот эффект был предсказан в работе [1] и исследован экспериментально при относительно высоких температурах в работе [2].

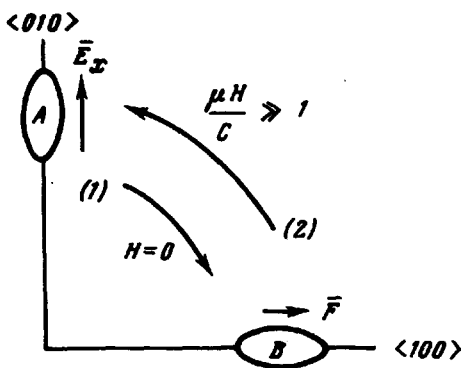


Рис. 1. Схема междолинного переброса электронов в греющих электрических полях в отсутствии [1] и при наличии [2] сильного магнитного поля

В [1] указывается, что если производная dn_g/dF станет большой (это может быть достигнуто в сильных магнитных полях при низких температурах), то вольт-амперная характеристика из сверхлинейной может перейти в S-образную. Предметом данной работы и является исследование вольт-амперных характеристик в таких условиях.

Образцы n -Si с удельными сопротивлениями при комнатной температуре $\rho_{300^\circ\text{K}} = 12, 25, 62$ и $85 \text{ ом} \cdot \text{см}$ длиной в направлении $\langle 001 \rangle$ около 1 см и сечением $\sim 0,06 \times 0,06 \text{ см}^2$ вырезались в плоскости (110) . Помещались они в криостат, позволяющий поддерживать температуру образца в пределах $77 - 4,2^\circ \text{K}$ с точностью 10^{-2}°K . Электрическое поле от стандартного генератора прямоугольных импульсов в виде одиночных импульсов длительностью 10 мксек прикладывались в направлении $\langle 001 \rangle$. Поперечное магнитное поле H величиной до 50 кэ создавалось сверхпроводящим соленоидом, находящимся в ванне жидкого гелия.

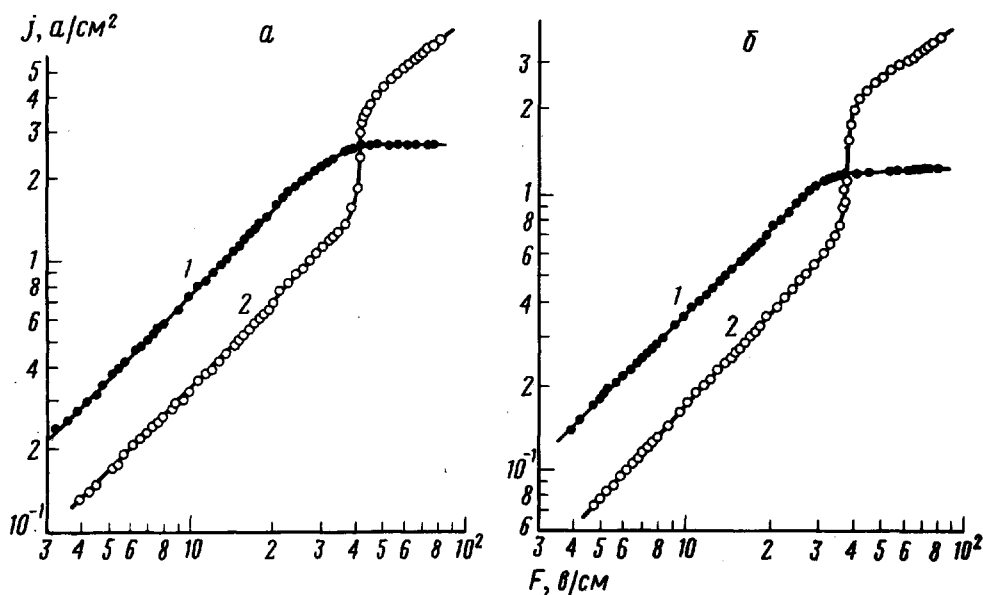


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики образца n -Si ($\rho_{T=300^\circ\text{K}} = 62 \text{ ом} \cdot \text{см}$) без магнитного поля (кривые 1) и с магнитным полем (кривые 2) при $T = 46,1^\circ\text{K}$, $H = 15 \text{ кэ}$ (а) и $T = 38,5^\circ\text{K}$, $H = 17 \text{ кэ}$ (б)

Результаты, полученные на образцах с разным ρ , качественно одинаковые. Вольт-амперные характеристики одного из образцов, измеренные с помощью двухлучевого запоминающего осциллографа, показаны на рис. 2. Кривые 1 соответствуют случаю $H = 0$. Насыщение тока связано с наличием N -образной характеристики и обусловлено неустойчивостью состояния с отрицательной дифференциальной проводимостью [3]. Этим же объясняется и то, что для $H \neq 0$ в случае S -образных характеристик мы наблюдаем участок с постоянным напряжением в довольно широком интервале токов (кривые 2). На ряде образцов в начале вертикального участка характеристики наблюдались небольшие загибы в сторону S -образности.

Следует обратить внимание на то, что при измерении вольт-амперных характеристик импульс напряжения снимался не со всего образца, а с двух потенциальных зондов, расположенных на боковой грани вблизи средней части образца. При измерении напряжения на всем образце

вольт-амперная характеристика не имела области постоянного напряжения, но оставалась сверхлинейной. Это связано с шунтированием холловского поля контактами образца вблизи его концов, в результате чего рассмотренный эффект в этих частях образца не имел места, что искажало суммарную вольт-амперную характеристику.

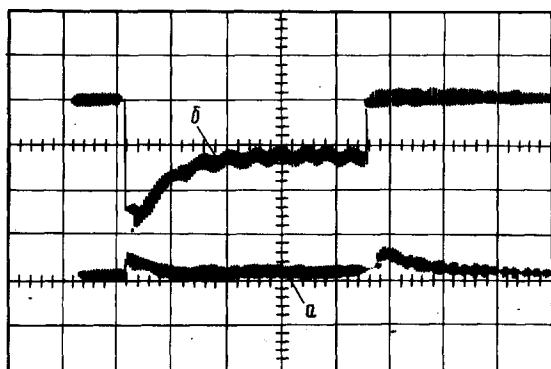


Рис. 3. Осциллограмма импульсов напряжения (отрицательный *a*) и тока (положительный, *b*) в области *S*-образности вольт-амперной характеристики одного из образцов.

Как известно [4], в области отрицательной дифференциальной проводимости как при *N*-образности, так и при *S*-образности могут наблюдаться колебания тока. Действительно, в наших экспериментах на токовом импульсе при напряжениях и токах, соответствующих участку *S*-образной характеристики с отрицательной дифференциальной проводимостью (ОДП) возникали колебания, частота (порядка 1 МГц) и амплитуда которых зависели от проходящего через образец тока и величины магнитного поля. Осциллограмма импульсов напряжения (*a*) и тока (*b*) для одной из точек вертикального участка вольт-амперной характеристики приведена на рис. 3. Следует отметить, что если колебания на участке с ОДП при *N*-образности проявляются не во всех образцах [5] и, в частности, в данных экспериментах наблюдались крайне редко, то при *S*-образности они появлялись практически всегда без специальных мер и были стабильны.

Отметим также, что наблюдаемая *S*-образность вольт-амперной характеристики по-разному выражена на различных образцах и сложным образом зависит от величины магнитного поля и температуры. Подробнее эти зависимости будут исследованы в дальнейшем.

Институт физики
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
12 июля 1974 г.

Литература

- [1] V.V.Mitin. Phys. Stat. Sol., B49, 125, 1972.
- [2] M.Asche, V.M.Bondar, L.F.Kurtenok, V.I.Martynchenko. Phys. Stat. Sol., B60, 497, 1973.
- [3] А.Ф.Волков, Ш.М.Коган. УФН, 96, 633, 1968.
- [4] В.Л.Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, А.Г.Миронов. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках. М., изд. Наука, 1972.
- [5] M.Asche, O.G.Jarbei. Phys. Stat. Sol., A8, к 61, 1971.