

РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛЕНКАХ $p-Ge$.
I. СИЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

А.Т.Дударёв, Б.П.Зотьев, Э.А.Клименко, А.Г.Клименко,
Э.В. Скубневский

В работе [1] описаны результаты исследования размерных эффектов на длине остывания [2,3] в пленках $p-Ge$ со слабо обедненными поверхностями.

В настоящем сообщении приводятся экспериментальные исследования размерных эффектов [2-5] в приповерхностных обогащенных слоях полупроводников.

Электрофизические свойства пленок. Монокристаллические пленки $p-Ge$ были выращены из жидкой фазы на сапфире [6].

на рис. I представлены характерные зависимости удельной электропроводности σ_x (кривая 3) и постоянной Холла R_x (кривая 2) от толщины d пленок $p-Ge$ при температуре 77°K, из которого следует, что σ_x и R_x существенно изменяются с уточнением образцов.

Зависимость σ от x (локальные значения) приведена также на рис. I (кривая 4). Оказалось, что до $d_1 \approx 2$ мкм σ по толщине распределена практически однородно; на толщине $d_1 \approx 2$ мкм имеется слой, электропроводность которого существенно выше электропроводности остальной части слоя.

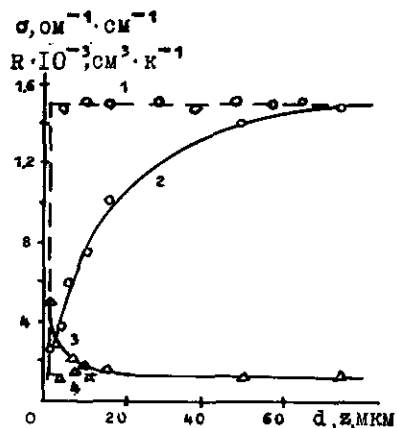


Рис. 1

следует из рис. 1, и концентрация, и подвижность имеют почти однородное распределение по толщине до 2 мкм.

Не исключено, что слой с повышенной проводимостью находится к сапфиру ближе, чем 2 мкм, и его толщина — порядка длины экранирования области пространственного заряда. Зависимости σ и R_x от толщины, рассчитанные в предположении параллельного включения слоев 1 и 2, приведены на рис. 1 (кривые 2 и 3). Видно, что теоретические кривые проходят через экспериментальные точки.

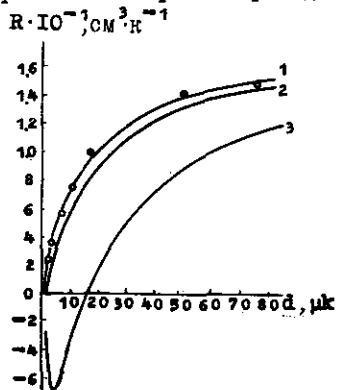


Рис. 2

Измерения эффекта поля показали, что на свободной поверхности пленки имеет место слабое обеднение. Следовательно, слой с повышенной проводимостью расположен в приповерхностной области со стороны сапфира.

Распределение $R = R(x)$ (локальные значения) представлено на рис. 1 (кривая 1). Зная распределение $\sigma = \sigma(x)$ и $R = R(x)$, можно сразу записать распределение концентрации $p(x) \sim R(x)$ и подвижности $\mu(x) = R(x) \cdot \sigma(x)$. Как

были рассчитаны толщинные зависимости в предположении, что проводимость приповерхностного слоя — n -типа ($R_1 < 0$). Подвижность электронов при 77°K вводилась в расчет от $4 \cdot 10^5$ см²/в до ~ 1 . Соответственно, кривые 3 и 2 на рис. 2 (кривая 1 для $R_1 > 0$). Ни одна из рассчитанных кривых для $R_1 < 0$ не описывает эксперимента, что исключает электронную проводимость приповерхностного слоя.

Из приведенного анализа следует, что слои однородны по толщине. В приповерхностной области у сапфира имеется слой с повышенной проводимостью p -типа, толщина которого может быть порядка длины экранирования.

Поперечное магнитосопротивление. На рис. 3 приведены зависимости поперечного магнитосопротивления от напряженности магнитного поля при температуре 77°K (кривые: 1-5 и 1'-5', соответственно, 4, 7, 11, 17, 75 (50) мкм). Верхнее семейство кривых соответствует ориентации магнитного поля перпендикулярно плоскости пленки $H \perp \vec{n}$, нижнее — параллельно $H \parallel \vec{n}$. Здесь \vec{n} — нормаль пленки.

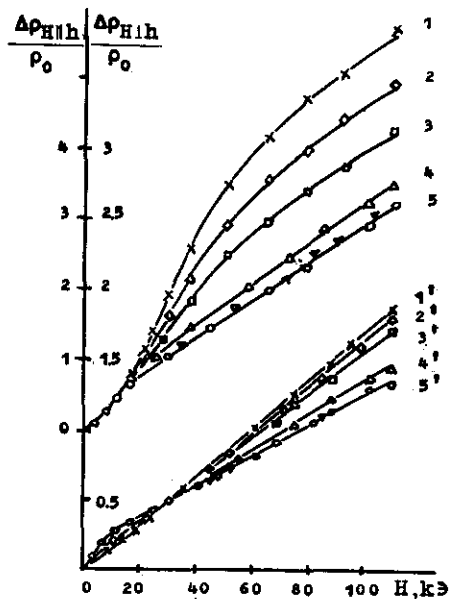


Рис. 3

Теоретические (кривые: 1 — $H \perp \vec{n}$, 2 — $H \parallel \vec{n}$) и экспериментальные ($\alpha - H \perp \vec{n}$, $\delta - H \parallel \vec{n}$) зависимости магнитопроводимостей для $l_3 \approx 3$ мкм, отнесенных к своим объемным значениям, от толщины приведены на рис. 4, а. Как следует из рисунка, экспериментальные зависимости $\sigma_{H \perp \vec{n}}$ и, следовательно, $\Delta \rho / \rho_0$ в магнитном поле, перпендикулярном плоскости пленки, полностью объясняются двухслойностью образцов.

В магнитном поле, параллельном плоскости пленки, экспериментальные точки лежат существенно выше теоретической кривой.

Результаты могут быть объяснены существованием размерного эффекта по длине остывания [2,3], который экспериментально показан на пленках p -Ge с обедненными поверхностями [1].

Толщинные зависимости "размерной" проводимости $\Delta\sigma/(\sigma_H^I)_{об}$, рассчитанные для двух механизмов рассеяния и различных констант ξ , характеризующих взаимодействие носителей заряда с поверхностью, приведены на рис. 4 (кривые 3 - 7 для $\xi = 0; I; 4; 7; 10$; (ион.), 8 для $\xi = 0$ (ак.)). Как следует из рисунка, в случае рассеяния на акустических колебаниях эффект гораздо слабее, чем при рассеянии

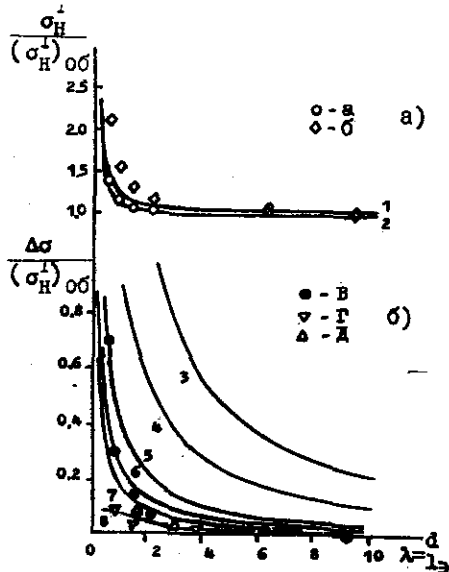


Рис. 4

на ионизированных примесях (см. кривые 3 и 8). На рис. 4, б нанесены также экспериментальные значения, полученные на однородных образцах (см. [1]) ($\xi \approx 8$ мкм) и двухслойных пленках ($\xi \approx 8$ мкм). На обеих группах образцов наблюдается качественное соответствие теории и эксперимента. Однако в двухслойных пленках эффект гораздо больше, чем в однородных образцах. Естественно отнести это увеличение за счет эффекта в приповерхностном слое, в котором в основном и реализуется анизотропное перераспределение дырок в магнитном поле [4]. Не исключено также существование в приповерхностном слое других эффектов, как, например, размерного эффекта на длине свободного пробега по импульсу. Однако разделить эти эффекты количественно в настоящее время не представляется возможным.

Продольное магнитосопротивление $\Delta\rho''/\rho_0$ и $\Delta\sigma/(\sigma_H^I)_{об}$. Зависимость продольного магнитосопротивления ($\Delta\rho''/\rho_0$) от напряженности магнитного поля при 77°K для пленок различной толщины представлена на рис. 5 (кривые, d мкм: 1 - 4, 2 - 7, 3 - 11, 4 - 17, 5 - 75). Из рисунка видно, что магнитосопротивление уменьшается с утончением пленки.

Эффект уменьшения $\Delta\rho''/\rho_0$ с уменьшением толщины пленки связан с влиянием приповерхностного слоя, так как подобной зависимости на однородных пленках не наблюдалось.

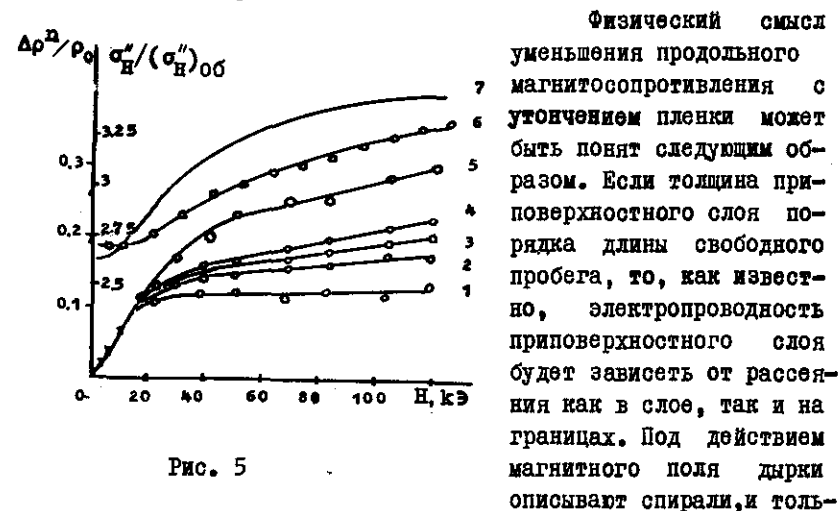


Рис. 5

Физический смысл уменьшения продольного магнитосопротивления с утончением пленки может быть понят следующим образом. Если толщина приповерхностного слоя порядка длины свободного пробега, то, как известно, электропроводность приповерхностного слоя будет зависеть от рассеяния как в слое, так и на границах. Под действием магнитного поля дырки описывают спирали, и только носители заряда, находящиеся на расстоянии ларморовского радиуса z от границ, "чувствуют" поверхность. Электропроводность, которая из-за рассеяния на поверхности была мала, в сильном магнитном поле $z \ll \ell_H$ испытывает тенденцию к увеличению. Рост σ_H^I с увеличением магнитного поля приведет к возрастанию среднего значения магнитопроводимости пленки.

На рис. 5 показана экспериментальная (кривая 6) и теоретическая (кривая 7) зависимости магнитопроводимости двухслойной пленки (для 4 мкм), отнесенной к своему объемному значению (75 мкм), от напряженности магнитного поля. Наблюдается качественное соответствие теории [5] и эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. БАМБУРОВА Л.В., ЗОТЬЕВ Б.П., СКУБНЕВСКИЙ Э.В. Размерные эффекты в пленках p -Ge. Настоящий сборник, стр. 93-96.
2. ГРИБНИКОВ Э.С., МЕЛЬНИКОВ В.И. Размерный эффект в магнитосопротивлении полупроводников. - ИЭТФ, 1966, 51, стр.1909.

3. БОЧКОВ В.С., ГУРЕВИЧ Ю.Г. Нелинейные размерные эффекты в магнитном поле. -ФТТ, 1969, II, стр. 714.

4. ГРИБНИКОВ Э.С. Анизотропное перераспределение носителей вблизи заряженной поверхности полупроводника. -УФЖ, 1971, 16, стр. 772.

5. АЗБЕЛЬ М.Я. Проводимость пленок в продольном магнитном поле. -ДАН СССР, 1954, т. 99, № 2, стр. 519.

6. РЖАНОВ А.В., АЛЕКСАНДРОВ Л.Н., КЛИМЕНКО Э.А., ЗАХАРОВ А.К., КЛИМЕНКО А.Г. Электрофизические характеристики монокристаллических слоев германия и границ раздела слоев с неориентируемыми подложками. -Труды IX межд.конф.по физике полупроводников, 1969, № 1, стр. 520.

Поступила в ред.-изд.отд.

15 августа 1972 г.