

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ПЛАТО КВАНТОВАННОГО ХОЛЛОВСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ДВУМЕРНОМ СЛОЕ НОСИТЕЛЕЙ В КРЕМНИИ

*В.М.Пудалов, С.Г.Семенчинский*

Для двумерных слоев носителей в Si-структурах металл – диэлектрик – полупроводник изучена форма плато холловского сопротивления в диапазоне относительных отклонений  $\delta = 10^{-6} \div 10^{-2}$ . Выявлена логарифмическая зависимость ширины плато от отклонения  $\delta$  и линейная – от температуры.

До настоящего времени отсутствовали экспериментальные сведения о зависимости формы плато холловского сопротивления <sup>1</sup> от тока и температуры, необходимые для апробации различных теоретических моделей <sup>2</sup> квантового эффекта Холла (КЭХ) <sup>1</sup>. В данной работе исследовалась форма плато холловской компоненты тензора сопротивления  $\rho_{xy}$  двумерного слоя носителей при изменении напряжения на затворе  $V_3$  кремниевой МДП-структуры. Измерения  $\rho_{xy}$  проводились в диапазоне относительных отклонений  $\Delta\rho_{xy}/\rho_{xy} = 10^{-6} \div 10^{-2}$  вблизи значения <sup>1</sup>  $\rho_{xy} = h / ie^2 = 6453,20$  Ом, соответствующего полному заполнению носителями одного четырехкратно ( $i = 4$ ) расщепленного уровня Ландау.

Образцы представляли собой структуры металл – диэлектрик – полупроводник с инверсионным каналом  $n$ -типа, изготовленные на поверхности (100) Si  $p$ -типа. По обе стороны прямоугольного канала имелись две пары потенциальных электродов. Исследовались образцы двух типов: с малой площадью канала ( $500 \times 50$  мкм<sup>2</sup>), толщиной диэлектрика 2000 Å и подвижностью в максимуме  $\mu^{max} \approx 1 \cdot 10^4$  см<sup>2</sup>/В·с <sup>3</sup>; с большой площадью канала ( $1200 \times 400$  мкм<sup>2</sup>), толщиной диэлектрика 1300 Å и подвижностью  $\mu^{max} \approx 1,5 \cdot 10^4$  см<sup>2</sup>/В·с. Все измерения проводились в магнитном поле 80 кЭ. При значениях  $V_3$ , соответствующих плато  $\rho_{xy}$ , компонента  $\rho_{xx}$  уменьшалась в  $\sim 10^5$  раз (при  $T = 0,4$  К) по сравнению со значением в отсутствие магнитного поля.

**Воспроизводимость формы плато.** Известно, что форма плато  $\rho_{xy}$  на уровне  $\Delta\rho_{xy}/\rho_{xy} \lesssim 10^{-5}$ , вообще говоря, может не повторяться от опыта к опыту и зависеть от предистории образца <sup>4</sup>, оставаясь, однако, постоянной в течение одного низкотемпературного эксперимента. Тем не менее, авторам удалось многократно получать состояние образцов, называемое далее "равновесным", которое характеризуется следующими признаками: а) симметричным распределением потенциалов на контактах образца относительно его середины; б) максимальным значением подвижности  $\mu$  и минимальным пороговым напряжением  $|V_{пор}|$ ; а также их одинаковостью для различных участков образца; в) совпадением положения по  $V_3$  плато  $\rho_{xy}$  и минимумов  $\rho_{xx}^{min}$ , измеряемых на разных участках образца. В "равновесном" состоянии  $\rho_{xy}$  в средней части плато постоянно с точностью до  $\Delta\rho_{xy}/\rho_{xy} \ll 10^{-5}$  (рис.1), зависимости формы плато от различных параметров качественно повторяются от опыта к опыту и для разных образцов, а вариации  $|V_{пор}|$  от опыта к опыту  $\leq 0,2$  В.

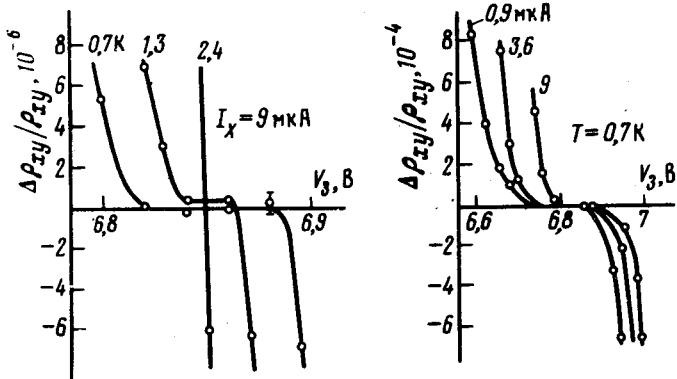


Рис. 1. Типичная форма плато  $\rho_{xy}$  ( $i = 4$ ) для образца с каналом  $1200 \times 400$  мкм<sup>2</sup>: а – при различных температурах  $T$ ; б – при различных токах  $I_x$

Невоспроизводимость формы плато  $\rho_{xy}$  ( $V_3$ ) может быть связана с вариациями распределения и амплитуды флуктуаций потенциала в двумерном слое носителей. "Равновесное" состояние соответствует минимальной амплитуде и однородному распределению флуктуаций потенциала, что достигается, возможно, при заполнении носителями всех ловушек на границе Si / SiO<sub>2</sub>. В неравновесном состоянии отсутствуют признаки а) – в); одновременно резко увеличивается значение  $\rho_{xx}^{min}$  (например от  $8 \cdot 10^{-3}$  Ом до  $\sim 1$  Ом при  $T = 0,4$  К) и появляется, как правило, немонотонная зависимость  $\rho_{xy}$  ( $V_3$ ) в районе плато.

**Форма плато.** Количественной характеристикой формы плато принята ширина  $\Delta$ , измеренная на уровне заданного относительного отклонения  $\delta$  холловского сопротивления  $\rho_{xy}$  от опорного значения, в качестве которого было выбрано значение  $\rho_{xy}$  в середине плато при  $T = 0,7$  К,  $I_x = 9$  мкА. На рис. 2 изображена зависимость ширины плато от  $\delta$  при различных токах  $I_x$  и температурах  $T$ . Семейство кривых на рисунке построено для образца с большой площадью канала; данные на врезке – для образцов с малой площадью канала.

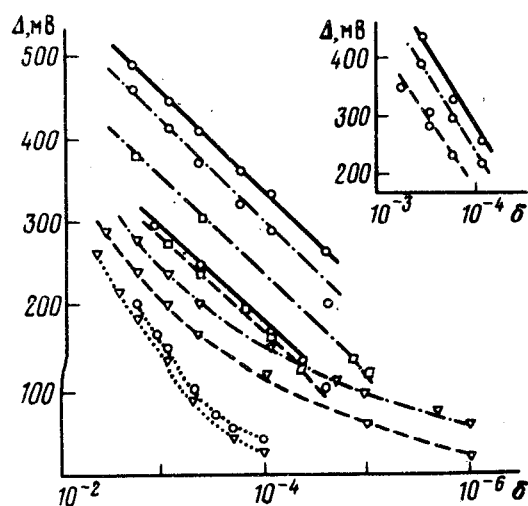


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость ширины плато  $\Delta$  от модуля заданного отклонения  $\delta$ :  $\circ$  –  $I_x = 0,9$  мкА,  $\square$  –  $3,6$  мкА,  $\nabla$  –  $9$  мкА;  $\cdot$  сплошные линии –  $T = 0,4$  К, штрих-пунктир –  $0,68$  К, пунктир –  $1,3$  К, точки –  $2,36$  К

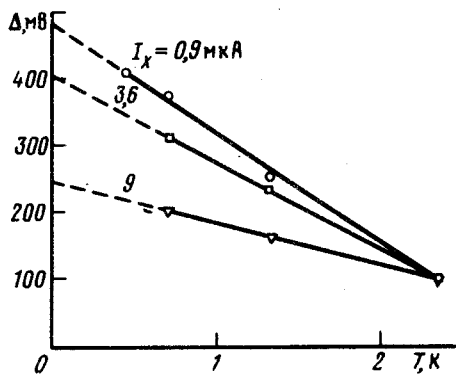


Рис. 3. Зависимость ширины плато  $\Delta$  (для отклонения  $\delta = 5 \cdot 10^{-4}$ ) от температуры для образца с большим каналом

В довольно широком диапазоне отклонений  $\delta$ , токов и температур эта зависимость имеет логарифмический характер, причем, как это видно из рис. 2, наклон соответствующих прямых не зависит ни от температуры, ни от тока. Исключение составляет область больших температур  $T = 2,4$  К и больших токов  $I_x \geq 9$  мкА, где логарифмическая зависимость, если

и существует, то в значительно меньшем диапазоне  $\delta$ . В этих же условиях температурная зависимость ширины плато близка и линейной (рис. 3), а  $\Delta\rho_{xy} \propto \rho_{xx}$ .

Из рис. 2 и рис. 3 следует, что связь между шириной плато, температурой и относительным отклонением сопротивления имеет вид

$$\Delta = f(T) + B \ln \delta. \quad (1)$$

Такой вид зависимости не удастся объяснить с помощью модели со связанными одиночными состояниями носителей на короткодействующих флуктуациях потенциала<sup>2,5</sup> и активационным механизмом проводимости<sup>6,7</sup>. Из этой модели, часто привлекаемой для качественного объяснения КЭХ<sup>5-7</sup>, следует, что зависимость ширины плато должна иметь иной вид:

$$\Delta = A + T^\alpha \ln \delta,$$

где  $A$  — константа;  $\alpha = 1$  или  $1/3$  в зависимости от механизма проводимости<sup>2</sup>.

Для количественного уточнения зависимости (1) и выбора иной модели необходимо проведение измерений в области больших токов, при лучшем разрешении по напряжению ( $\leq 10$  нВ), а также установление зависимости от магнитного поля.

Авторы благодарны З.Д.Квону — за обсуждение результатов и предоставление образцов, И.Я.Краснополю и В.С.Эдельману — за ценные советы, М.С.Хайкину — за внимание к работе.

#### Литература

1. *Von Klitzing K.V., Dorda G., Pepper M.* Phys. Rev. Lett., 1980, 45, 494.
2. *Thouless D.J.* J. Phys. C., 1981, 14, 3475.
3. *Верников М.А., Пазинич Л.М., Пудалов В.М., Семенчинский С.Г.* Письма в ЖТФ, 1982, 8, 820.
4. *Wagner R.J., Lavine C.F., Cage M.E., Dziuba R.F., Field B.F.* Surface Sci., 1982, 113, 10.
5. *Prange R.E.* Phys. Rev. B, 1981, 23, 4802.
6. *Iordansky S.V.* Solid State Comm., 1982, 43, 1.
7. *Laughlin R.B.* Phys. Rev. B, 1981, 23, 5632.