

КВАЗИБАЛЛИСТИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

А.А.Быков, З.Д.Квон, Е.Б.Ольшанецкий, Л.В.Литвин, Ю.В.Настаушев,
В.Г.Мансуров, В.П.Мигаль, С.П.Мощенко, В.Г.Плюхин

*Институт физики полупроводников Сибирского отделения РАН
630090 Новосибирск, Россия*

Поступила в редакцию 30 марта 1993 г.

Создан и исследован электронный интерферометр на основе 2D-электронного газа в гетеропереходе AlGaAs/GaAs, имеющий наиболее малые размеры в сравнении с ранее известными. Установлено, что амплитуда осцилляций Ааронова–Бома этого интерферометра достигает при $T < 0,1$ К 35% от его сопротивления в отсутствие магнитного поля, что почти в 2 раза превышает наибольшую из достигнутых ранее.

Начиная с работы [1], исследования кольцевых электронных интерферометров ведутся уже несколько лет, в особенности после наблюдения осцилляций Ааронова–Бома в квазибаллистическом режиме, когда длина свободного пробега $l > L$ ($L = \pi d_{эфф}/2$) [2,3]. Интерес к этим исследованиям вызван прежде всего тем, что электронный интерферометр является основой квантового интерференционного транзистора, использование которого позволит уменьшить мощность переключения на несколько порядков в сравнении с классическими транзисторами. На пути к созданию интерференционного транзистора уже возник ряд трудностей, вызванный главным образом подавлением интерференции флуктуационным потенциалом примесей и дефектов [4]. Одна из возможностей их преодоления – уменьшение размеров интерферометра.

В данной статье сообщается об изготовлении и свойствах квазибаллистического электронного интерферометра с эффективным диаметром кольца $d_{эфф} = 600 - 700$ нм и шириной проводящего канала $W < 20$ нм. Авторам не известны работы, в которых бы описывался интерферометр столь малых размеров. Благодаря этим размерам в созданном интерферометре наблюдались осцилляции Ааронова–Бома, амплитуда которых $\Delta R/R_0$ (R_0 – сопротивление интерферометра в отсутствие магнитного поля) достигала при некотором значении магнитного поля величины 0,35.

Описываемый интерферометр изготавливался с использованием техники электронной литографии и технологии реактивного ионного травления на основе 2D-электронного газа в гетеропереходе AlGaAs/GaAs с тонким спейсером, полученном методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Параметры 2D-электронного газа при $T = 4,2$ К были следующими: концентрация электронов $N_s = 7 - 9 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, подвижность $\mu = 10^5 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Это соответствует длине свободного пробега электронов $l = 1,5$ мкм. Отметим, что именно использование гетероперехода с тонким (3 нм) спейсером и, соответственно, с высокой концентрацией 2D-электронов позволило создать интерферометр с очень узкими проводящими каналами ($W < 20$ нм). Следует также отметить, что в вышеупомянутом гетеропереходе полностью отсутствовали овалыные дефекты, которые могут привести к уменьшению подвижности электронов.

Электронная литография проводилась в растровом электронном микроскопе Stereoscan S-2A с использованием генератора изображения ELPHY-1. Интер-

ферометр формировался на холловской меза-структуре, полученной методом обычной фотолитографии с шириной мостика 10 мкм и расстоянием между потенциометрическими контактами 100 мкм. Кольцо интерферометра создавалось экспонированием круга диаметром 400 нм, вокруг которого оставлялось пространство кольца шириной 200 нм, окантованное линиями шириной 200 нм. После проявления изображения в электронном резисте проводилось реактивное ионное травление GaAs и AlGaAs с таким расчетом, чтобы травление заканчивалось в AlGaAs. Изображение интерферометра в растровом электронном микроскопе представлено на рис.1. На рис.2 приведен его схематический разрез с указанием основных размеров.

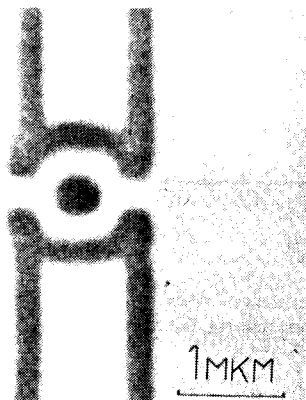


Рис.1. Изображение интерферометра в растровом электронном микроскопе

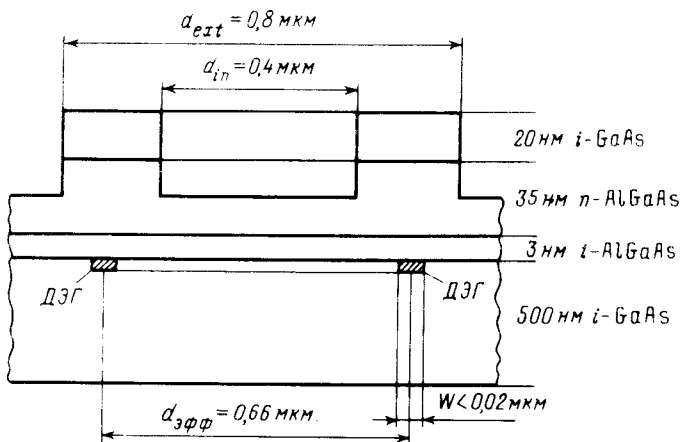


Рис.2. Схематический разрез интерферометра с указанием основных размеров

В работе исследовалось магнетосопротивление интерферометра при температурах $T = 20 \text{ мК} - 4,2 \text{ К}$ и в магнитных полях до 10 Тл. Измерения сопротивления проводились на переменном сигнале частотой 30 Гц по четырехточечной схеме с использованием фазового детектора. Рис.3 показывает результаты этих измерений в зависимости от магнитного поля при $T \approx 20 \text{ мК}$. Видно, что наблюдаются осцилляции Ааронова-Бома, амплитуда которых сравнима с пол-

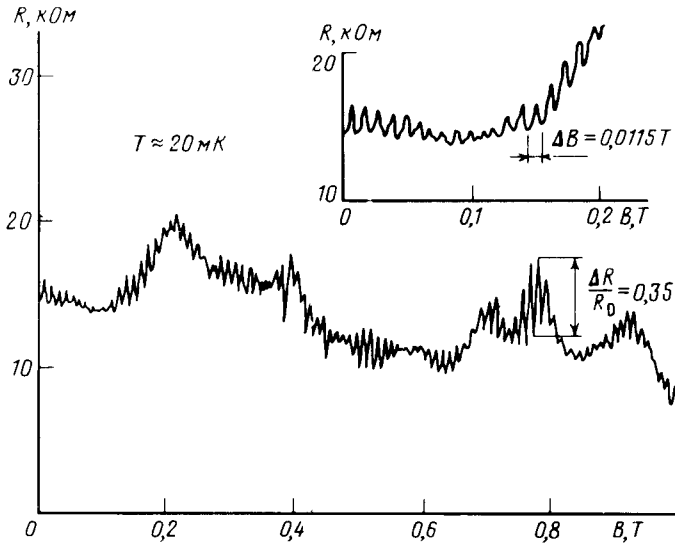


Рис.3. Зависимость сопротивления интерферометра от магнитного поля при $T \approx 20 mK$. На вставке – поведение осцилляций Ааронова-Бома в области минимума биений

ным сопротивлением образца, а период по магнитному полю $\Delta B = 0,0115 T$, что соответствует квантованию магнитного потока с квантом $\Phi = h/e$ через площадь с эффективным диаметром $d_{эфф} = 660 nm$ (h/e -осцилляции). Из рис.3 также видно, что амплитуда осцилляций сильно зависит от магнитного поля. При $B = 0,75 T$ наблюдались осцилляции с наибольшей амплитудой, когда $\Delta R/R_0 = 0,35$. До настоящей работы наибольшая амплитуда наблюдалась в работе [3], в которой при $B = 0,1 T$ $\Delta R/R_0 = 0,2$. Наряду с основным периодом наблюдаются биения, период которых в 10 раз больше, причем в момент появления биения амплитуда основных осцилляций сильно уменьшается (при некоторых магнитных полях практически до нуля). Описанные биения связаны, по всей видимости, с конечной шириной W проводящих каналов интерферометра. Период биений позволяет оценить величину W . Эта оценка дает $W = 15 - 20 nm$. Таким образом, ширина проводящего канала исследуемого интерферометра оказывается сравнимой с магнитной длиной при полях порядка 10 Тл. Благодаря этому факту, а также малой величине $d_{эфф}$, в нем наблюдаются большие величины амплитуды осцилляций Ааронова-Бома, несмотря на меньшую подвижность двумерных электронов в сравнении с [2,3]. По этой же причине осцилляции Ааронова-Бома не подавляются вплоть до магнитных полей 7 Тл, то есть существуют даже в режиме квантового эффекта Холла. Наряду с h/e -осцилляциями, описанными выше, наблюдались также $h/2e$ -осцилляции Ааронова-Бома. Эти осцилляции имеют на порядок меньшую амплитуду и в области, где доминируют основные осцилляции, проявляются в виде перегибов и слабых дополнительных минимумов. Однако в момент биения они являются доминирующими (см. вставку к рис.3). Следует отметить, что $h/2e$ -осцилляции не связаны в данном случае с эффектом слабой локализации, поскольку они существуют в области магнитных полей, где невозможно

существование слаболокализационных $h/2e$ -осцилляций [5]. Мы полагаем, что они обусловлены интерференцией двух независимых траекторий с обратным рассеянием. Аналогичная картина наблюдалась в работе [3]. Добавим, что $h/2e$ -осцилляции большой амплитуды наблюдались также в режиме квантового эффекта Холла. Однако их поведение не анализируется в данной работе, так как будет предметом отдельной публикации.

В заключение авторы благодарят К.К.Свиташева, А.Л.Асеева, М.Р.Бакланова за поддержку данной работы, а М.В.Энтина и А.Г.Погосова за обсуждение ее результатов. Работа частично финансировалась в рамках программы "Университеты России".

-
1. R.A.Webb, S.Washburn, S.P.Umbach, and R.B.Laibowitz, *Phys. Rev. Lett.* **54**, 2696 (1985).
 2. G.Timp, A.M.Chang, J.E.Cunningham, et al., *Phys. Rev. Lett.* **58**, 2814 (1987).
 3. C.J.V.Ford, T.J.Thornton, R.Newbury, et al., *Appl. Phys. Lett.* **54**(1), 21 (1989).
 4. A.V.Fowler, *Granular Nanoelectronics*, NATO ASI Series B: Physics vol.251, 1991 Plenum Press, New York.
 5. Б.Л.Альтшулер, А.Г.Аронов, Б.З.Спивак, *Письма в ЖЭТФ* **33**, 101 (1981).