Управляемая искусственная двумерная среда на основе макроскопического массива островков

Шуплецов А.В.¹, Кунцевич А.Ю.¹, Нунупаров М.С.², Приходько К.С.³

¹ ФИАН, 119991, Москва, Ленинский проспект, 53

² ИОФ РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38

³ НИЦ Курчатовский институт, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1

DOI 10.34077/Semicond2019-228

Метаматериалы, то есть модулированные среды, обладают повышенной функциональностью по сравнению с однородными материалами. В настоящей работе мы реализуем эффективную среду в Si-МДП структуре. Система представляет собой 2D газ с массивом островков (период 5 мкм). Концентрация электронов в основном двумерном газе и островках управляется двумя независимыми затворами. Отличия такой среды от однородной проявляются в низкотемпературном транспорте. Размеры островков значительно превышают длину свободного пробега (~50 nm), что позволяет считать систему классической.

Рис. 1. ТЕМ- изображение сечения структуры и схема подключения затворов.

Эффект Холла такого массива, казалось бы, должен представлять что-то среднее между эффектом Холла в основном газе и островках, но он демонстрирует сильно нелинейную зависимость от магнитного поля, а в малых полях - и от температуры. Ещё более удивительным является то, что эффект Холла может демонстрировать немонотонную зависимость от напряжения на затворе: казалось бы, чем больше электронов, тем меньше должно быть холловское сопротивление. Эти особенности холловского сопротивления могут быть объяснены качественной моделью, учитывающей перераспределение транспортного тока в зависимости от проводимостей в островках и основной площади двумерного газа. Например, когда проводимость островков выше проводимости основного газа, транспортный ток течет преимущественно в островках, они же и дают вклад в эффект Холла. Температурная зависимость эффекта Холла происходит, по-видимому, из-за различного поведения подвижностей в газе и островках, обусловленного слабой локализацией.

Ещё один известный низкотемпературный эффект, проявляющийся в Si-МДП структурах, - это переход металл-изотятор (ПМИ). Когда концентрация в островках устанавливается малой, транспортный ток течет только по двумерному газу и ПМИ наблюдается. По мере наполнения островков электронами "металлическая" температурная зависимость сопротивления подавляется. Этот эффект, по-видимому, связан с тем, что островки окружены переходными областями, концентрация электронов в которых мала, и температурная зависимость проводимости диэлектрическая. С ростом концентрации в островках, транспортный ток начинает затекать в них, попутно проходя через "диэлектрические" области. Таким образом, нами было показано (см. также препринт [1]), что в макроскопически неоднородной управляемой 2D системе реализуется ряд новых явлений, которые качественно можно объяснить различными режимами протекания тока. Переход между ними управляется напряжениями на независимых затворах.

Рис. 2. Зависимость холловской концентрации массива от n_{2D} газа при разных значениях n_{Isl}