Динамика спонтанного электрического поля в индуцированном микроволновым излучением “zero-resistance state”

Дорожкин С.И.¹, Капустин А.А.¹, Дмитриев И.А.², Umansky V.³, Smet J.H.⁴

¹ Институт физики твердого тела РАН, 142432, Черноголовка, ул. Ак. Осипьяна, 2

² Terahertz Center, University of Regensburg, 93040 Regensburg, Germany

³ Department of Physics, Weizmann Institute of Science, 76100 Rehovot, Israel

⁴ Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Heisenbergstr.1, D-70569 Stuttgart, Germany

DOI 10.34077/Semicond2019-355

Установлен механизм, приводящий к квазипериодическим переворотам спонтанного электрического поля [1] в доменной структуре, реализующей индуцированное микроволновым излучением состояние с малой диссипацией на постоянном токе, широко известное как “zero-resistance state”. Механизм состоит [2] в динамическом экранировании спонтанного электрического поля доменов подвижными зарядами слоя селективного легирования, обеспечивающего возникновение высокоподвижной электронной системы в квантовой яме GaAs. Процесс состоит из следующих стадий. (1) Быстрое возникновение доменной структуры спонтанного электрического поля, геометрия которой определяется геометрией образца и, вероятно, распределением высокочастотного электрического поля в образце. При наличии центра инверсии в этих конфигурациях первоначальное спонтанное поле может иметь одно из двух противоположных направлений. (2) Более медленное смещение зарядов слоя легирования в спонтанном поле приводит к возникновению экранирующего поля, направленного противоположно спонтанному. (3) При некотором значении экранирующего поля более устойчивой становится ориентация спонтанного поля, противоположная первоначальной, и в двумерной электронной системе происходит перераспределение заряда, сопровождающееся изменением направления спонтанного электрического поля. В дальнейшем процессы (2) и (3) повторяются, приводя к автоколебаниям спонтанного электрического поля. Сигнал микроволновой фото-ЭДС при этом представляет собой серию почти прямоугольных импульсов, короткие фронты которых соответствуют смещению зарядов в высокоподвижной двумерной системе, а вершины – медленному динамическому экранированию возникшей конфигурации спонтанного электрического поля. В результате частота переключений оказывается пропорциональной проводимости слоя легирования. В данной работе установлено, что (1) динамическая доменная структура возникает только в образцах с проводящим слоем легирования и (2) температурные зависимости проводимости слоя легирования и частоты переключений спонтанного электрического поля описываются термоактивационными законами с близкими значениями энергий активации (см. рис.), что согласуется с теоретическим ожиданием. Измерения средней частоты переключений осуществлялись из анализа сигналов микроволновой фото-ЭДС, записанных на многоканальный цифровой осциллограф. Величина проводимости слоя легирования определялась из частотной зависимости импеданса трехэлектродного полевого транзистора, включающего в себя двумерную электронную систему, проводящий слой легирования и металлический затвор на поверхности гетероструктуры.

Рис.1. – Температурные зависимости проводимости слоя легирования σ и средней частоты переключений микроволновой фото-ЭДС f_{sw} . Прямыми линиями показаны термоактивационные кривые с соответствующими значениями энергий активации Δ .

[1] S.I. Dorozhkin et al., Nat. Phys. 7, 336 (2011), Phys.Rev.Lett. 114, 176808 (2015).

[2] I.A. Dmitriev, Int. Workshop 'Recent Developments in 2D Systems', Okinawa, Japan (2016).