Экспериментальное исследование «тёмных» осесимметричных плазменных мод в дисках двумерных электронов

Андреев И. В., Муравьев В. М., Загитова А. А., Гусихин П. А., Белянин В. Н., Губарев С. И.,
Фортунатов А. А., Кукушкин И. В.

ИФТТ РАН, 142432, г. Черноголовка Московской обл., ул. Академика Осипьяна, д. 2

DOI 10.34077/Semicond2019-214

Плазменные возбуждения в двумерных электронных системах (ДЭС) являются гибким и удобным объектом для физических исследований, так как их частотой легко управлять, меняя концентрацию двумерных электронов в системе или прикладывая внешнее магнитное поле. Наиболее простой геометрией для наблюдения двумерных плазмонов является геометрия диска. Собственные плазменные моды в дискообразной ДЭС можно классифицировать [1, 2] при помощи пары волновых чисел $(l; m)$. Радиальное волновое число $l = 0, 1, 2 \dots$ отвечает числу узлов осцилляций электронной плотности вдоль радиуса диска, в то время как магнитное волновое число $m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$ отвечает числу осцилляций электронной плотности по угловой координате, причём знак m связан с направлением распространения возбуждения (положительные m соответствуют объёмным, а отрицательные – краевым модам). Моды с $m=0$ имеют аксиальную симметрию, вследствие чего их дипольный и все мультипольные моменты равны нулю. По этой причине такие осесимметричные моды не излучают (являются «тёмными»).

В данной работе предложены две различные методики, позволившие впервые обнаружить и исследовать осесимметричные плазменные моды в ДЭС в виде диска, изготовленных на основе полупроводниковых гетероструктур GaAs/AlGaAs. Первая методика основана на ближнеполевом возбуждении плазмонов в диске в геометрии Корбино, когда возбуждающий СВЧ-сигнал прикладывается к маленькому дискообразному затвору в центре образца, а периметр диска ДЭС держится заземлённым. Вторая из предлагаемых методик не требует изготовления омических контактов к ДЭС и/или затворов, и основана на возмущении микроволнового электрического поля в волноводе при помощи внесённого в него диэлектрического дефекта, роль которого играл оптический световод из плавленого кварца.

В экспериментах [4, 5] были экспериментально исследованы дисперсия и магнитодисперсия осесимметричных мод, а также исследована ширина моды $(1; 0)$ в сравнении с фундаментальной модой $(0; 1)$. Установлено хорошее согласие экспериментальных данных с существующей теорией [3]. Показано, что ширина осесимметричной моды не имеет излучательного вклада, и может быть существенно меньше, чем ширина линии дипольных магнитоплазменных мод. Также была разработана и апробирована методика создания вблизи образца области локально неоднородного микроволнового электрического поля при помощи оптического световода, использовавшегося в качестве диэлектрического дефекта. Было установлено, что возмущение поля кварцевым световодом тем сильнее, чем меньше длина волны и меньше расстояние от образца до торца световода. Было показано, что релятивистские эффекты запаздывания для осесимметричных мод в дисках большого размера проявляются значительно слабее, чем для фундаментальной магнитоплазменной моды.

Работа выполнена в рамках госзадания ИФТТ РАН при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты 17-02-01140 и 18-02-00753).

- [1] D.C.Glatthli et al., *Phys. Rev. Lett.* **54**, 1710 (1985).
- [2] С.С. Назин и В.Б. Шикин, *ФНТ* **15**, 277 (1989).
- [3] A.L.Fetter, *Phys. Rev. B* **33**, 5221 (1986).
- [4] V.M. Muravev et al., *Phys. Rev. B* **96**, 045421 (2017).
- [5] А.А. Загитова и др., *Письма в ЖЭТФ* **108**, 478 (2018).