

УДК 538.945

DOI: 10.17223/00213411/63/3/131

*И.А. УШАКОВ, Е.А. ЛЕВЧЕНКО***МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕЙ АБРИКОСОВА В ТРЕХМЕРНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ ***

С помощью COMSOL проведено моделирование вихрей Абрикосова в трехмерных структурах микро- и наноразмеров. При моделировании граничные условия были введены в систему с помощью вспомогательной перемещенной. Система помещена в магнитное поле, перпендикулярное одной грани структуры. Для изученных в работе структур исследовано распределение параметра порядка, фазы, мейснеровских токов внутри структуры. Исследован эффект Мейснера. Показано, что внутри объемной структуры при значении магнитного поля меньше критического происходит уменьшение внешнего магнитного поля до 70 %.

Ключевые слова: вихри Абрикосова, эффект Мейснера, трехмерные наноструктуры.

Введение

Свойства сверхпроводящих материалов II типа во многом определяются сочетанием двух характеристических длин: длины когерентности и глубины проникновения магнитного поля. В докритических магнитных полях сверхпроводник находится в состоянии Мейснера, характеризующемся циркулирующим приграничным сверхпроводящим током. Приграничная область с током определяется глубиной проникновения. Повышение магнитного поля сопровождается частичным его проникновением в образец в виде нитей магнитных силовых линий, охватываемых циркулирующим сверхпроводящим током вихрей. В массивных образцах минимальное значение свободной энергии достигается при упорядочении вихрей в виде гексагональной решетки. В сверхпроводниковых структурах размером порядка и меньше глубины проникновения тока, циркулирующие по периметру, не могут препятствовать проникновению магнитного поля в структуру. Таким образом, классические состояния Мейснера не возникают.

Исследованию свойств наноструктур в пространственно-однородном магнитном поле посвящено большое количество работ за последние два десятилетия. Развитие технологии синтеза трехмерных наноструктур, обладающих нетривиальной геометрией, открывает новые возможности для исследований топологически контролируемых свойств сверхпроводящих наноструктур. Предлагаемое направление отличается от активно ведущихся исследований влияния топологии зонной структуры на сверхпроводимость [1] тем, что нетривиальная геометрия индуцирует сложное пространственное распределение магнитного поля и параметра порядка. Например, можно создать наноструктуры с неоднородной кривизной – в таких объектах нормальная и тангенциальная компоненты магнитного поля будут пространственно-неоднородными, что приведет к нетривиальному распределению мейснеровских и вихревых токов. Так, если в наноструктуре присутствуют участки с нулевой нормальной компонентой магнитного поля, в системе появляется несколько мейснеровских токов и формируется подобие многосвязной доменной структуры.

Наноструктуры из сверхпроводящих материалов представляют уникальную возможность применения квантовомеханических законов для получения специфических сверхпроводящих свойств, необходимых для практического применения. К настоящему времени исследованы сверхпроводящие свойства множества наноразмерных конфигураций, таких, как петли, диски, прямоугольники, треугольники и др., представленных либо в единичном экземпляре, либо как составляющие элементы соответствующих массивов (например, сверхрешеток из прямоугольников [2]).

Математическое моделирование и вычислительный эксперимент позволяют значительно ускорить и удешевить исследования в области сверхпроводящих наноструктур. Ядром математической модели является нелинейная система дифференциальных уравнений Гинзбурга – Ландау и Максвелла.

Для массивных структур «больших» размеров образование вихрей Абрикосова и эффект Мейснера действительно представлены ранее аналитическими и численными моделями. Как правило, в данных моделях пренебрегают рядом факторов, например взаимодействием вихрей с приграничными мейснеровскими токами или эффектами перенормировки магнитного поля.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00228.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>