

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА
И ПОЛУПРОВОДНИКОВ НАН БЕЛАРУСИ



МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**II Международной научной конференции
2–4 октября 2002 г., Минск**

Минск
Издательский центр БГУ
2002

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОЛОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА

Соболь В.Р.¹, Мазуренко О.Н.¹, Устинович Д.Ф.²

¹Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси

ул. П.Бровки, 17, 220072 Минск, Беларусь

²Физико-технический институт НАН Беларуси

ул. Купревича, 10, 220141 Минск, Беларусь

В некоторых задачах магнетизма требуется определять уровень намагниченности и конфигурацию поля в объеме образцов. Конечность размеров приводит к понятиям первого и второго критического поля в сверхпроводниках не только в термодинамическом пределе, но и с учетом размагничивающих явлений, определяет масштаб экранирования, уровень необратимых потерь энергии в магнитопроводах при их перемагничивании из-за вязкостных эффектов и т.д. [1]. Для определения влияния формы и размеров образца на магнитное состояние следует оценивать воздействие внешнего поля самосогласованно, учитывая поле как в пространстве, так и в объеме образца.

В работе представлены результаты расчета поля полого цилиндра, находящегося во внешнем однородном магнитном поле, нормальном к образующей цилиндра. Рассмотрение выполнено в приближении суперпозиции первоначального и наведенного полей. В отсутствие движения свободных зарядов можно использовать формализм магнитостатического потенциала φ и применить уравнение Лапласа. В рассматриваемой геометрии поле несимметрично относительно оси цилиндра, азимутальная и радиальная компоненты не равны нулю. В приближении большой длины концевые эффекты несущественны, и в цилиндрической системе уравнение для потенциала имеет вид:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} = 0$$

Такой тип уравнения позволяет искать решение методом разделения переменных. В задаче существуют три зоны, магнитные свойства которых различаются и для общности рассмотрения обозначены индексами o (внутренняя полость цилиндра), i (сам цилиндрический образец), e (внешняя область пространства). Решение уравнения с учетом совокупного воздействия первоначального и наведенного полей через результирующий

потенциал как сумму потенциалов первоначального поля φ_1 и поля детали φ_i было получено с использованием граничных условий на поверхностях цилиндра, предполагающих непрерывность тангенциальных и нормальных компонент векторов напряженности и индукции магнитного поля. Последующая операция дифференцирования позволяет записать вид магнитного поля для трех областей:

$$H_o = (r \cos \theta - \theta \sin \theta) \frac{\mu_o}{\mu_o + \mu_i} \frac{4H_1}{\frac{\mu_i + \mu_e}{\mu_e} + \frac{R_1^2}{R_2^2} \frac{\mu_i - \mu_o}{\mu_i + \mu_o} \frac{\mu_i - \mu_e}{\mu_e}}$$

$$H_i = \frac{2H_1}{\frac{\mu_i + \mu_e}{\mu_e} + \frac{R_1^2}{R_2^2} \frac{\mu_i - \mu_o}{\mu_i + \mu_o} \frac{\mu_i - \mu_e}{\mu_e}} \left[r \left(1 + \frac{R_1^2}{r^2} \frac{\mu_i - \mu_o}{\mu_i + \mu_o} \right) \cos \theta - \theta \left(1 - \frac{R_1^2}{r^2} \frac{\mu_i - \mu_o}{\mu_i + \mu_o} \right) \sin \theta \right]$$

$$H_e = H_1 \left\{ (r \cos \theta - \theta \sin \theta) + (r \cos \theta + \theta \sin \theta) \frac{R_2^2}{r^2} \left[1 - \frac{2 \left(1 - \frac{R_1^2}{R_2^2} \frac{\mu_i - \mu_o}{\mu_i + \mu_o} \right)}{\frac{\mu_i + \mu_e}{\mu_e} + \frac{R_1^2}{R_2^2} \frac{\mu_i - \mu_o}{\mu_i + \mu_o} \frac{\mu_i - \mu_e}{\mu_e}} \right] \right\}$$

Здесь H_1 – первоначальное магнитное поле, R_1 и R_2 - внутренний и внешний радиусы цилиндра, r , θ - единичные векторы. Как следует из представленных выражений, поле во внутренней полости цилиндра H_o однородно и параллельно полю H_1 . Уменьшение внутреннего радиуса цилиндра трансформирует внутреннее поле к известному виду, характерному для сплошного цилиндра. В объеме цилиндра магнитное поле неоднородно, и магнитное перенапряжение существует на участках, касательных к первоначальному внешнему полю. На участках поверхности, которые нормальны к первоначальному полю, внутреннее поле меньше. В случае, если магнитная проницаемость материала цилиндра и внутренней полости сближаются по величине, внутреннее поле становится однородным и совпадает по направлению с внешним. Вне цилиндра поле можно представить как сумму первоначального поля и поля, наведенного в объеме детали, которое частично компенсирует первоначальное вблизи цилиндра и уменьшается по величине обратно пропорционально квадрату расстояния.

[1] Ю.В.Афанасьев, Н.В.Студенцов, В.М.Хорев и др. Средства измерения параметров магнитного поля. Энергия, Л. (1979). 254 с.