

УДК 338.945

**Е.В.Карушева (3 курс, каф. ЭИКиК), А.Г.Мосейчук, к.ф.-м.н., доц.,
Ю.А.Полонский, д.т.н., проф.**

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ ПО МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Сверхпроводники, находящиеся в сверхпроводящем состоянии при $T < T_c$, где T_c – критическая температура перехода из нормального в сверхпроводящее состояние, являются диамагнетиками и выталкиваются из магнитного поля (эффект Мейсснера или явление магнитной левитации). Магнитная индукция в сверхпроводнике I рода при этом равна нулю. Магнитное поле проникает только в тонкий приповерхностный слой на *лондоновскую* глубину $\sim 10^{-5} \dots 10^{-6}$ м. Для сверхпроводников II рода магнитное поле частично проникает внутрь материала в виде вихрей Абрикосова.

Открытые в 1986 г. высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП), имеющие $T_c > T_{испN}$, где $T_{испN}$ — температура испарения жидкого азота, равная при нормальном давлении 77,4 К, и относящиеся к сверхпроводникам II рода, обнаруживают явление магнитной левитации [1]. Учитывая потенциальную перспективность ВТСП, обусловленную применением относительно дешевого хладагента (жидкого азота), магнитная левитация представляется явлением, способным найти себе практическое применение в электротехнике. К настоящему времени прошли успешное опробование микроэлектродвигатели и опытная модель сверхпроводящего электротранспортного устройства, основанные на использовании магнитной левитации сверхпроводников. В частности, в Японии была создана экспериментальная сверхпроводящая трасса длиной 400 м для вагона массой 2 т [1]. Исходя из перспективности ВТСП, представляется целесообразным в учебном процессе для студентов, обучающихся по направлению 654500 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» в рамках федеральной дисциплины Ф.02 «Материаловедение» (раздел «Электротехнические материалы»), организовать визуальное ознакомление учащихся с явлением магнитной левитации сверхпроводников. Этому посвящена настоящая работа.

В качестве сверхпроводника в работе использован иттриевый высокотемпературный сверхпроводник состава $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-d}$ где d – дефицит по кислороду. Сверхпроводник был изготовлен с помощью традиционного метода двухстадийного твердофазового синтеза (исходные компоненты – оксиды иттрия, меди и карбонат бария; Максимальная температура спекания – 950 °С, 1 ч с последующим кислородным отжигом в среде кислорода при температуре 400 °С). Синтезированный сверхпроводник имеет $T_c = 92$ К.

Эффект магнитной левитации на примере созданного ВТСП демонстрируется следующим образом. Первоначально ВТСП образец, имеющий вид тора или диска и находящийся при температуре 20 °С, подвешивается на кронштейне с помощью тонкой хлопчатобумажной нити. Вблизи от строго вертикально висящего образца на расстоянии ~ 5 мм располагается постоянный магнит. Затем образец вводится в дьюар с жидким азотом, где через неболь-

шой интервал времени (2...3 мин) образец полностью охлаждается до 77,4 К и переходит в сверхпроводящее состояние. После этого образец, закрепленный по-прежнему на нити, извлекается из жидкого азота и ему предоставляется возможность свободного расположения в пространстве. Вследствие магнитной левитации образец, находящийся в сверхпроводящем состоянии, отклоняется на угол α от вертикального положения. Зная массу образца, угол α и параметры постоянного магнита, можно ориентировочно рассчитать силу левитации. По мере нагревания образца его температура достигает T_c и угол $\alpha > 0$. В случае использования вместо нити тонкой термопары в процессе описанного демонстрационного опыта можно определять также величину T_c .

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ципенюк Ю.М. Физические основы сверхпроводимости.– М.: Изд-во МФТИ, 1996.– 96 с.