

УДК 537.312.62

М.С.Конончук (5 курс, каф. ПФОТТ);
С.А.Немов, д.ф.-м.н., проф., Д.В.Шамшур, к.ф.-м.н., ст.н.с., ФТИ РАН

ЗАВИСИМОСТЬ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ НАНОКОМПОЗИТА ИНДИЙ-ОПАЛ ОТ СТЕПЕНИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИИ.

ABSTRACT: The possibility of changing primary low-temperature properties of nanocomposite In-Opal by modification geometrical parameters of the system is considered.

Нанокompозитные системы In-Opal привлекают внимание исследователей более трех десятилетий. Интерес обусловлен размерной зависимостью критической температуры сверхпроводящего перехода. До последнего времени экспериментальные исследования носили экзотический характер, так как требовали использования драгоценных минералов и температуры ниже температуры жидкого гелия. Успехи в технологии получения искусственных благородных опалов выдвинули эту тематику в число наиболее перспективных научных направлений.

В данной работе объектами рассмотрения являются структура и свойства нанокompозита, представляющего собой регулярную трехмерную решетку наночастиц индия, образованную заполнением подрешетки пустот опала. Особый интерес подобные системы представляют ввиду структурной упорядоченности 3-мерных ансамблей наночастиц. Необычные свойства и новые эффекты обуславливаются именно периодичностью подобных структур в пространстве. При описании физических явлений и процессов происходящих в подобных системах, данные структуры можно рассматривать с одной стороны как трехмерные джозефсоновские решетки, с другой стороны, как решетку электропроводящих контуров.

Опал представляет собой систему плотно-упакованных силикатных шаров (в гексагональной или кубической решетках), пустоты между которыми составляют 20-25% объема кристалла и образуют решетку, образованную полостями двух видов - тетраэдрическими и октаэдрическими, которые соединены между собой каналами.

Введение металла в матрицу пустот, образованную силикатными шарами в синтетическом опале, позволяет образовывать регулярную структуру. В результате чего образуется пространственная сетка, представляющая собой трехмерную решетку связанных между собой гранул. Любой токоведущий путь в подобной решетке может быть рассмотрен как зигзагообразный канал в виде последовательного чередования больших и малых гранул. Диаметр гранул и степень их изолированности друг от друга может быть изменена в результате нанесения дополнительного слоя диэлектрика на поверхности силикатных шаров. Вследствие равномерного нанесения слоя диэлектрика на внутреннюю поверхность опала отношение диаметров полостей и каналов меняется. Таким образом, это обстоятельство можно использовать в целях преднамеренного изменения свойств ансамбля сверхпроводниковых структур за счет ослабления межгранулярной связи в матрице. Этого можно добиться нанесением ряда слоев TiO_2 на внутреннюю поверхность опала методом молекулярного наслаивания.

Морфология материала такова, что протекание тока представляет собой периодическое разветвление и слияние токов в узлах решетки гранул. В силу квантования магнитного потока, возникают ограничения на заполнение сверхпроводящим током возможных путей протекания и величину контурных токов. Таким образом, возникает самосогласованное

состояние, в котором распределение тока по сечению решетки неоднородно из-за взаимодействия контуров между собой. В силу данной согласованности контурных токов, объем решетки разбивается на области, по границам которых протекает транспортный ток. Контур области может заключать в себе до нескольких квантов магнитного потока. По мере увеличения тока наблюдается дробление этих областей с тем, чтобы увеличить токонесущую способность решетки. В случае сверхпроводящего перехода размеры контуров с током могут меняться в десятки раз.

Исследования температурных и магнитопольных зависимостей проводились на установке низких и сверхнизких температур, получаемых путем откачки паров жидкого He^3 (диапазон температур проводимых измерений от 0.6 К до 300 К).

В ходе работы исследовались образцы Индий-опал, с разным количеством циклов молекулярного наслаивания TiO_2 на внутреннюю поверхность матрицы опала. В результате поставленных экспериментов были получены зависимости $R(T)$, $R(H)$, на которых четко прослеживалась корреляция значений критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние T_c и критического магнитного поля H_c с размерами частиц индия, меняющимися от образца к образцу. Ослабление связи между соседними гранулами индия путем уменьшения характерного диаметра сечения межгранулярных каналов приводит к увеличению значений критических величин.

В настоящее время в лаборатории проходят исследования образцов с высоким показателем зарастивания каналов (около 8 нм) – для них сохраняется тенденция к увеличению T_c , H_c увеличивается еще в десяток раз, по сравнению с рассмотренными образцами. Так же изменяется зависимость сопротивления от температуры в диапазоне температур от гелиевых к комнатным, она имеет зависимость отличную от зависимости, свойственной металлам.

Модификация структуры In-Opal позволяет изменять низкотемпературные электрофизические свойства системы, а метод молекулярного наслаивания является эффективным способом изменения геометрических параметров системы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. С.Г. Романов, Д.В. Шамшур, Физика твердого тела, том 42, вып. 4 (2000).
2. L.M. Sorokin, V.N. Bogomolov, J.L.Hutchison, D.A. Kurdyukov, A.V. Chernyaev, T.N. Zaslavskaya, Nanostructured Materials, Vol. 12 (1999).
3. S.G. Romanov, C.M. Sotomayor Torres. In: Handbook of Nanostructured materials and Nanotechnology. Vol.4 / Ed. By H.S. Nalwa, Academic Press (1999). P. 231-233.