

Синтез наноразмерных монокристаллов топологического изолятора и исследование гибридных сверхпроводниковых структур на их основе

Д.С. Яковлев^{1,2,3}, О.В. Скрябина³, С.В. Егоров³,
В.С. Столяров^{1,3}.

¹Московский физико-технический институт, Долгопрудный,

²НИИЦ Курчатовский Институт, Москва

³Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка

Топологические изоляторы представляют собой экзотическое состояние квантовой материи, заключающееся в том, что в объеме такие материалы являются узкозонными полупроводниками, в то время как их поверхность является металлической. Недавние теоретические предсказания и измерения фотоэлектронной спектроскопии показали [1-3], что группа V-VI материалов таких как Bi_2Se_3 , Bi_2Te_3 , Sb_2Te_3 и более сложные соединения как $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ являются ТИ, в энергетическом спектре которых наблюдается присутствие поверхностных состояний, описываемых линейным законом дисперсии Дирака (конус Дирака) внутри запрещенной зоны. По прогнозам эти материалы проявляют интересные свойства на поверхности.

В данной работе мы сообщаем о синтезе и характеристизации сверхтонких $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ нанопластин с толщиной до нескольких нанометров и поперечным размером около (100-300) нм, выращенных с помощью (PVD - физическое осаждение из газовой фазы) метода синтеза.

Низкотемпературные измерения образца показывают наличие эффекта сверхпроводящей близости ТИ ($\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$) и сопряженных с ним сверхпроводящими (Nb) ниобиевыми контактами. На кривых dI/dV мы наблюдаем эффекты, которые могут быть связаны с многократными Андреевскими отражениями.

Для синтеза ультратонких монокристаллов халькогенидов и Vi методом физического переноса атомов и молекул в потоке аргона (Physical vapor deposition PVD), потребовалась разработка и создание уникальной автоматизированной установки. Система была разработана в среде Solidworks рисунок 1.

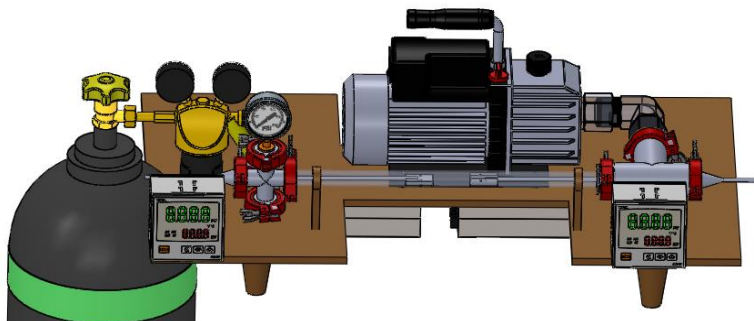


Рисунок 1. 3D-модель экспериментальной установки в среде SolidWorks.

Морфология синтезированных наноструктур сильно зависит от температуры подложки.

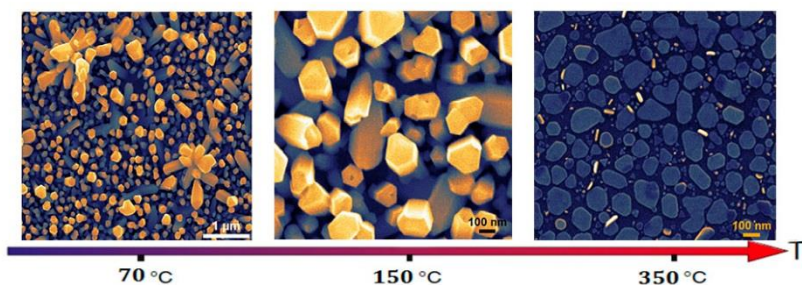


Рисунок 2. SEM-изображения полученных структур ТИ в зависимости от температуры осаждения материала.

При температуре подложки 70 °C (рис.2(a)), все покрыто аморфной пленкой и из поверхности торчат нанопровода, это указывает на то, что такой большой градиент температур нежелателен для роста. При температуре 150°C (рис. 2(b)) начинает быть виден поперечный рост. При температуре 350°C

(рис.2(с)) видны монокристаллы с треугольной и гексагональной морфологией с поперечными размерами 100-400 нм. Они крепко скреплены с подложкой и с трудом удаляются во время разрушения ультразвуком и органическим растворителем.

На рисунке 3 показаны зависимости сопротивления этих объектов от температуры. Черным обозначена зависимость для объемного кристалла, цветными линиями – для чешуек. Нужно отметить полупроводниковый ход для объемного и металлический – для чешуек. Температура сверхпроводящего перехода ниобия составила $\sim 8,3$ К. При дальнейшем понижении температуры сопротивление на чешуйках сильно уменьшается, что может свидетельствовать о наличии эффекта близости.

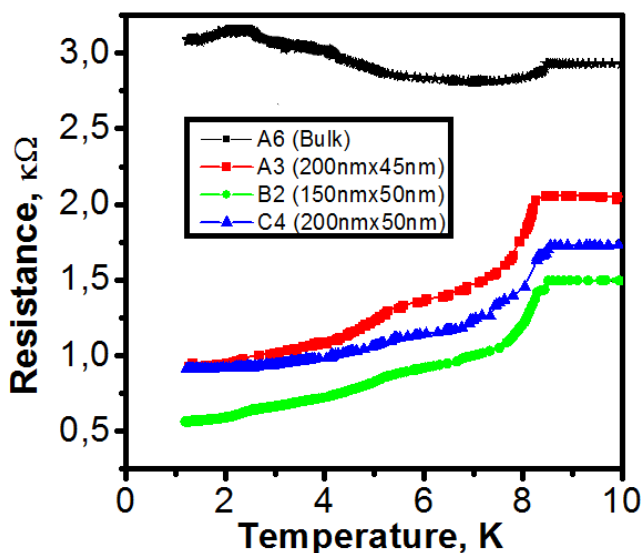


Рисунок 3. Зависимость сопротивления объектов ТИ от температуры

На рисунке 4 мы видим четкие пики в dV/dI , что показывает наличие Андреевского отражения на границе чешуйка-Nb. На (рис.35) показана вольтамперная характеристика структуры B2. Особенности, соответствующие Андреевскому отражению, описывается формулой $V_n = 2\Delta / e n$, это хорошо

изучено в работах [20-24] на похожих объектах. Из положения пиков определяем энергию сверхпроводящей щели $\Delta = 3.51$ кВТс в Nb, $\Delta = 1.25$ мэВ. Получаем, что пики соответствуют $n=6,2,1$, что согласуется с экспериментальными данными.

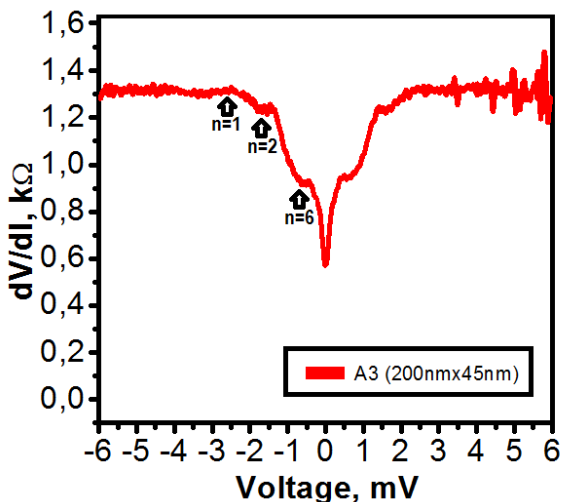


Рисунок 4. Дифференциальное сопротивление образца А3 при температуре 1.2 К снятая более подробно. На графике отмечены особенности, соответствующие многократному Андреевскому отражению. Для $\Delta=1.25$ мэВ

Литература.

1. Yan, Y. et al. Synthesis and Quantum Transport Properties of Bi₂Se₃ Topological Insulator Nanostructures. Sci. Rep. 3, 1264; DOI:10.1038/srep01264 (2013).
2. Schönherr et al.: Vapour-liquid-solid growth of ternary Bi₂Se₂Te nanowires. Nanoscale Research Letters 2014 9:127.
3. Kong, D.; Randel, J. C.; Peng, H.; Cha, J. J.; Meister, S.; Lai, K.; Chen, Y.; Shen, Z.-X.; Manoharan, H. C.; Cui, Y. Nano Lett. t. 2010, 10, 2245—2250.