Температурно-временные режимы Ван-дер-Ваальс эпитаксии тонких пленок Bi_2Se_3 на слюде

Кох К.А.^{1,2}, Небогатикова Н.А.^{2,3}, Кустов Д.А.², Антонова И.В.^{2,3,4}, Кузнецов А.Б.¹,
Голяшов В.А.³, Степина Н.П.³, Терещенко О.Е.^{2,3}

¹ ИГМ СО РАН им. В.С. Соболева, 630090, Новосибирск, пр. ак. Копюга, 3

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

³ ИФП СО РАН им. А.В. Ржанова, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

⁴ Новосибирский государственный технический университет, 630087, Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 136

DOI 10.34077/Semicond2019-109

Практическое применение электронных свойств топологических изоляторов ограничено объемной проводимостью кристаллов. Получение тонких пленок (толщиной менее 100 нм) позволяет значительно уменьшить объемную проводимость и сформировать поверхностные состояния со спин поляризованной проводимостью. Существующие подходы к получению тонких пленок халькогенидов висмута методами механического, жидкофазного, или электрохимического расслоения, как правило, позволяют получать образцы размером порядка нескольких десятков микрон. В то время как для создания гетероструктур на основе топологических изоляторов требуются образцы ~100 мкм. В данной работе проведен эпитаксиальный рост пленок Bi_2Se_3 из газовой фазы на слюде. В нагреваемом конце кварцевого реактора устанавливалась лодочка с источником в виде фрагмента кристалла Bi_2Se_3 . Противоположный конец находился при комнатной температуре и был подсоединен к форвакуумному насосу. В центре реактора, в области градиента температур устанавливались подложки из технической слюды. По данным рентгенофазового анализа, на протяжении 3-6 см при 500°C реализуется Ван-дер-Ваальс эпитаксия с ориентированным нарастанием монокристаллического слоя Bi_2Se_3 плоскостью (0001) на слюде. В диапазоне времени напыления 4.5-26 часов получены пленки, по данным АСМ, толщиной 20 – 300 нм. При уменьшении температуры роста до 450°C, рост значительно замедляется. Встречаются зерна размером 300 – 500 нм, и рельефом 1 нм (квинтет Se-Bi-Se-Bi-Se). Измерения проводимости при комнатной температуре показали, что пленки толщиной ~ 20 нм демонстрируют слоевое сопротивление $10^3 - 10^4$ Ом/кв, а в более толстых пленках (~ 120-200 нм) слоевое сопротивление падает до 10 Ом/кв. Насыщение сопротивления на уровне $10^3 - 10^4$ Ом/кв может свидетельствовать о преобладающем вкладе в проводимость поверхностных топологических состояний. Минимальное сопротивление получается в случае достаточно длительного роста (22 ч) при 500°C. Важно, что при уменьшении времени роста пленки сопротивления имеют примерно одинаковое значение $10^3 - 10^4$ Ом/кв на протяжении всей пленки. Сходные уровни сопротивления достигнуты по литературным данным на тонких пленках BiSbTeSe_2 при толщине менее 100 нм. Также мы исследовали пленки, полученные при отслоении от объемного кристалла Bi_2Se_3 . Сопротивление таких пленок составляет $10^3 - 10^4$ Ом/кв и не зависит от толщины при толщине менее 80 нм. Исследования морфологии поверхности с помощью СЭМ показали присутствие посторонней фазы с морфологией, отличающейся от треугольников Bi_2Se_3 . Ее наличие, вероятно, дает вклад в дефектность пленки и падение проводимости в некоторых местах измерений. Мы предполагаем, что это соединение Bi_2SeO_2 , что подтвердилось с помощью КР спектроскопии на пленках, полученных при 600 и 700°C. Вероятным источником кислорода является термическое разложение слюды. В холодной части подложек отмечено присутствие глобул элементарного селена. Их наличие мы объясняем низкой активностью кислорода в присутствии буфера $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{Bi}_2\text{SeO}_2$, которой недостаточно для окисления селена. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-05-00198.