

g -факторов 2,04; 2,08; 2,10. При увеличении температуры синтеза вплоть до 900 °С в образцах (вторая группа) появляется ряд относительно узких сигналов с $g_1 = 2,20$; $g_2 = 2,095$. В третьей группе образцов, полученных при 1000 °С и выше, в спектрах ЭПР доминируют одиночные сигналы с шириной линии около 300 Гс и g -фактором, равным 2,3. Данные изменения парамагнитных характеристик образцов коррелируют с исследованиями структуры композиционных материалов. В образцах, полученных при давлении меньше 4 ГПа, парамагнитных сигналов не зарегистрировано. Хотя ковеллин обладает металлическими свойствами вплоть до перехода в сверхпроводящее состояние, его зонная структура состоит, как минимум, из двух подзон s - и d -типа и не может рассматриваться как «простая» металлическая [2]. Необходимо также учитывать валентное состояние ионов меди и их распределение по слоистой структуре. Аномальное сокращение расстояний Cu(I)-S по сравнению со средней величиной, характерной для тригональной координации в халькогенидах, соответствует сильному перекрыванию орбиталей ионов меди и серы. Основными структурными элементами в соединениях халькогенидов группы ковеллина являются чередующиеся слои треугольников Cu(I)S₃ и усеченных тетраэдров Cu(II)S₄. При этом медь находится в промежуточном состоянии – в ионном остове имеется в среднем не целое число электронов [3]. При этом между ионами Cu(I) и Cu(II) посредством атома серы происходит суперобменное взаимодействие [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов П.Г., Голошапов С.И., Медведкин Г.А., Воеводин В.Г. Обнаружение сигналов магнитного резонанса с аномальной дисперсией и двух типов изолированных центров марганца в кристалле халькопирита (Zn, Mn)GeP₂ // Письма в ЖЭТФ.– 2003 – Т. 77, №10. С.686 –690.
2. Gainov, R.R., A.V. Dooglav, I.N. Penrjv, N.N. Mozgova. Phase transition and anomalous electronic behavior in the layered superconductor CuS probed by NQR // Phys. Rev. B. –2009. –V.79. – P. 075115.
3. Гайнов Р.Р. Исследование особенностей электронного строения медьсодержащих халькогенидов методами ЯКР и ЯМР /Автореферат дис. на соискание уч. ст. к. физ.-мат. наук.– 2010. 28 с.
4. Bastow, T.J., I.D., K.J. Whilfield. Campbell Cu NQR in copper (II) compounds // Solid State Commun. –1980.–V.33.–P.399-401.

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ НА КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ

А. Т. Акобирова¹, В. И. Головчук², М. Г. Лукашевич²,
Н. Султонов¹, Р. Б. Хамрокулов¹

¹Таджикский национальный университет, г. Душанбе, Таджикистан

²Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь, golovchuk95@mail.ru

Приводятся результаты исследования методами атомно-силовой и растровой электронной микроскопии морфологии поверхности пленок теллурида кадмия, полученных на кремниевой подложке методом напыления в квазизамкнутом объеме. Показана возможность получения поликристаллических пленок с разным размером зерна и шероховатостью, изменяющимися в интервале от 2,5–5 мкм и 34 до 87 нм соответственно.

Благодаря оптимальному сочетанию электрических и оптических характеристик теллурид кадмия является эффективным для изготовления фотосопротивлений, солнечных батарей, счетчиков радиоактивных излучений, элементов инфракрасной оптики, а также широко применяются в оптических и электронных технологиях [1]. Пленочные гетероструктуры кремний-теллурид кадмия активно используются при производстве солнечных элементов [2, 3]. В данной работе представлены результаты исследования структурных характеристик (атомная силовая и растровая электронная микроскопии) пленок теллурида кадмия, полученных методом вакуумного напыления в квазизамкнутом объеме на шлифованных и полированных кремниевых подложках. Толщина полученных пленок варьировалась в диапазоне 150–200 нм.

Морфология поверхности выращенной плёнки исследовалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) при комнатной температуре в полуконтактном резонансном режиме с частотой 145 кГц на приборе Solver P47HT-МДТ. Использовались кантилеверы серии NSG 01 с радиусом закругления 10 нм. Величина шероховатости определялась как среднее арифметическое значение высоты микронеровностей, измеренное от средней линии профиля (по модулю) в пределах заданной длины по проведенным не менее пяти раз измерениям на одном образце диаметром 5 мм. Элементный состав пленок определялся методом рентгеноспектрального микроанализа с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) LEO – 1455 VP с областью микрозондирования около 5 мкм и погрешностью определения концентрации не превышающей 10%.

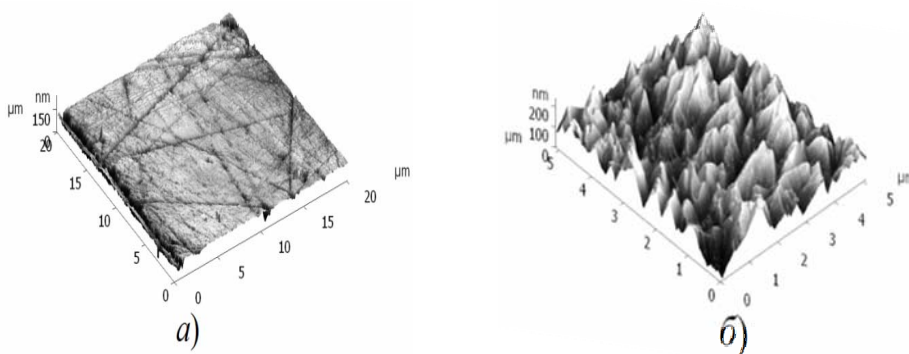


Рисунок 1. – Трехмерное АСМ изображение поверхности шлифованной кремниевой подложки (а) и выращенной на ней пленки теллурида кадмия (б)

На рис. 1 показаны трехмерные АСМ изображения шлифованной кремниевой подложки (а) и выращенной на ней методом напыления в квазизамкнутом объеме пленки теллурида кадмия (б). На поверхности шлифованной кремниевой пластины наблюдаются царапины с глубиной до 140 нм, являющиеся результатом шлифовки. Средняя шероховатость пластины составляет 8,6 нм. На АСМ изображении выращенной на ней пленки теллурида кадмия отчетливо наблюдаются кристаллиты размерами 2–2,5 мкм. Высота их достигает 300 нм, а средняя шероховатость полученной пленки составляет 34,07 нм. Можно отметить наличие темных пятен, размер которых достигает до 1 мкм в длину и 0,2 мкм в ширину, которые могут представлять собой поры.

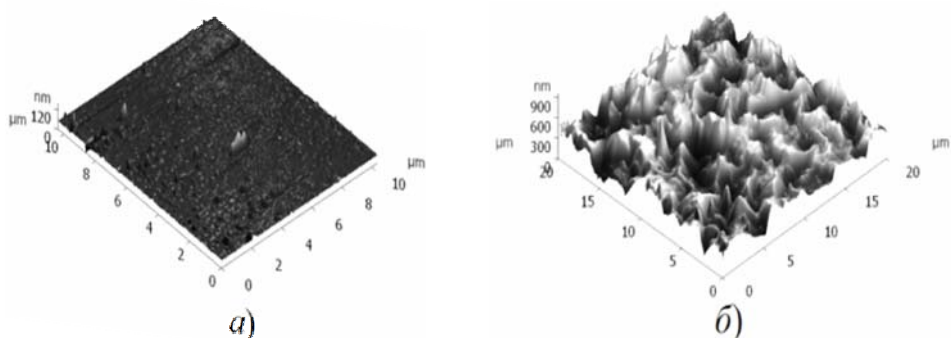


Рисунок 2. – Трехмерное АСМ изображение полированной поверхности кремниевой подложки (а) и выращенной на ней пленки теллурида кадмия (б)

На рис. 2 показаны трехмерные АСМ изображения полированной подложки кремния (а) и выращенной на ней пленки (б) теллурида кадмия. Как видно, подложка не содержит царапин и ее шероховатость 2,7 нм, что много меньше шероховатости шлифованной подложки. Выращенная на ней пленка имеет значительно большие кристаллиты, чистые, и, в отличие от первой пленки, размер их изменяется в диапазоне от 3,5 до 4 мкм.

Однако шероховатость выращенной на полированной кремниевой подложке пленки также значительно увеличилась и составляет 87,49 нм. Увеличилась также и величина максимального пика до 962,7 нм. Поры в виде пятен темного цвета на рисунке 2 (б) имеют значительно большую глубину – до 500 нм, а размер их достигает до 1,5 мкм в длину и 0,4 мкм в ширину.

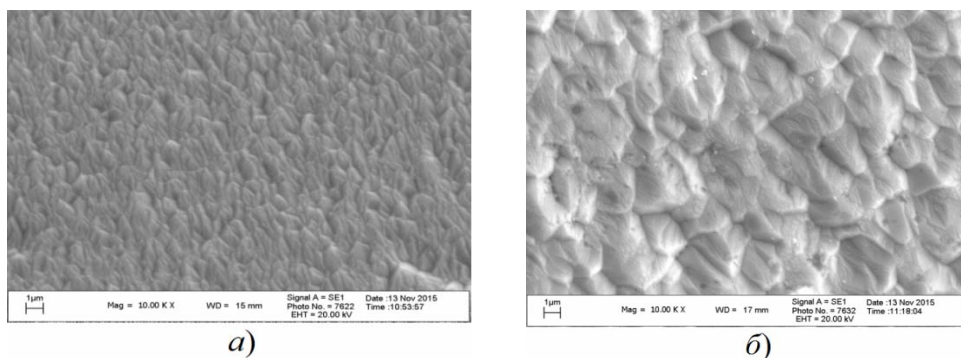


Рисунок 3. – Изображения растрового электронного микроскопа поверхности пленки теллурида кадмия на шлифованной (а) и полированной (б) подложках кремния

Изображения растровой электронной микроскопии поверхности пленки теллурида кадмия, выращенной на шлифованной и полированной пластинах кремния, показаны на рис. 3 (а) и (б) соответственно. Хорошо видно, что размер кристаллитов пленки на полированной подложке значительно больше и, кроме того, на рисунке 3 (б) отчетливо наблюдаются ступеньки роста кристаллов. Сравнивая изображения

атомно-силовой и растровой электронной микроскопии, можно видеть, что в обоих случаях они достаточно хорошо коррелируют.

Анализ композиционного состава показал, что в полученных на разных подложках пленках он приблизительно одинаков и составляет: Cd – 50,44 атом.% и Te – 48,75 атом. %. Кроме того, исследуемые пленки содержали 0,82 атом.% алюминия.

Таким образом, анализ изображений АСМ и РЭМ пленок теллурида кадмия, полученных на кремниевых подложках с разной морфологией поверхности, позволяет заключить, что методом напыления в квазизамкнутом объеме на них можно получать пленки теллурида кадмия с разной морфологией поверхности, а именно поликристаллические пленки с размером зерна от 2,5 до 5 мкм и шероховатостью от 34,07 нм до 87,49 нм. Композиционный состав таких пленок включает: Cd – 50,44 атом.%, Te – 48,75 атом.%, и они содержат до 0,82 атом.% алюминия.

Работа выполнена в рамках договора о сотрудничестве между Белорусским государственным и Таджикским национальным университетами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физика соединений A_2B_6 / Л.А. Бовина [и др.] ; под общ. Ред. Л.А. Бовиной. – М. : Наука, 1986. – 319 с.
2. Структура и электрические свойства пленок CdTe / Р.Б. Хамрокулов [и др.] // Вестник таджикского национального университета. – 2011. – Т. 70, №6. – С. 26–31.
3. Исследование структуры пленок CdTe, полученных в квазизамкнутом объеме на различных подложках / Н.С. Султанов [и др.] // Вестник ТНУ. – 2013. – №2. – С. 91–95.

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ В РАСТВОРЕ $(NH_4)_2S_x$ НА ЗАРЯДОВЫЕ СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ОКСИД ДИСПРОЗИЯ-КРЕМНИЙ

Н. В. Бабушкина¹, С. А. Малышев¹, Д. В. Жигулин², Л. И. Романова¹

¹ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск,
n.babushkina@ifanbel.bas-net.by

²Открытое Акционерное Общество «Интеграл»,
Научно-технический центр «Белмикросистемы», Минск

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений развития современной кремниевой технологии является использование пленок диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью (high-k диэлектрики с $\epsilon > 3,9$) вместо пленок диоксида кремния SiO_2 в качестве затворного диэлектрика [1]. Серьезной проблемой остается образование переходных слоев и более высокая плотность поверхностных состояний на границе high-k диэлектрик–кремний. В связи с этим особое значение имеет химическая обработка поверхности кремния перед нанесением пленок high-k диэлектрика. В работе [2] было показано, что обработка поверхности кремния в водном растворе сульфида аммония $(NH_4)_2S_x$ позволяет существенно снизить плотность поверхностных состояний на поверхности кремния.