

ОСАЖДЕНИЕ ЛЕГИРОВАННЫХ ЙОДОМ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ ИЗ ПАРОВ МОС

© 2016 г. В.С. ЕВСТИГНЕЕВ^{1,2}, А.Н. МОИСЕЕВ^{1,2}, А.В. ЧИЛЯСОВ¹,
Б.С. СТЕПАНОВ¹, М.Н. ДРОЗДОВ³

¹Институт химии высококчистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН, г. Нижний Новгород,

²Нижегородский университет им. Н.И. Лобачевского,

³Институт физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород

Введение

Теллурид кадмия (CdTe), благодаря уникальному комплексу свойств, успешно применяется при создании высокоэффективных солнечных элементов (CdTe р-типа), детекторов рентгеновского и γ -излучения (CdTe п-типа), а также при росте теллурида кадмия-ртути (HgCdTe). Для создания и применения устройств на основе CdTe требуется однородный монокристаллический материал с контролируемым легированием п- и р-типа. Однако, высокая тенденция CdTe к образованию электрически активных дефектов и высокое удельное сопротивление затрудняет контролируемое легирование. В случае CdTe п-типа это не всегда плохо, поскольку детекторы рентгеновского и γ -излучения требуют материал с высоким удельным сопротивлением. Тем не менее, для расширения возможностей технологического применения данного материала необходимо исследование поведения примеси во время легирования. Для получения CdTe п-типа проводимости обычно используются элементы III (Al, Ga, In) и VII (F, Cl, Br, I) групп, которые занимают узлы в подрешетке кадмия и теллура соответственно [1, 2]. В данной работе в качестве примеси п-типа использовался йод в форме его органического соединения - изопротийодида ($i\text{-C}_3\text{H}_7\text{I}$).

Целью настоящей работы являлось получение эпитаксиальных слоев (ЭС) CdTe, легированных йодом, из паров металлоорганических соединений. Для достижения поставленной цели было изучено влияние различных факторов на эффективность вхождения примеси йода в ЭС CdTe, а именно:

1. кристаллографической ориентации подложки;
2. концентрации легирующего прекурсора;
3. соотношения ДЭТ (диэтилтеллур)/ДМК (диметилкадмий).

Аппаратура и методы исследования

Осаждение слоев CdTe, легированных йодом, проводили на подложки полуизолирующего арсенида галлия (GaAs) с кристаллографической ориентацией поверхности (310), (100), (111)В.

Нелегированные и легированные слои CdTe выращивали при давлении 0,2 атм и температуре пьедестала 350 °С в вертикальном кварцевом реакторе [3]. Предварительно на подложки осаждали нелегированные слои CdTe в течение 1 часа и затем легированные слои в течение 2 часов.

Осаждение слоев CdTe проводили при одинаковом потоке диметилкадмия в реактор, который составлял – $4,0 \cdot 10^{-5}$ моль/мин. Величина потока диэтилтеллура изменялась от $2,8 \cdot 10^{-5}$ моль/мин до $8,0 \cdot 10^{-5}$ моль/мин (соотношение ДЭТ/ДМК от 0,7 до 2,0). Величина потока $i\text{-C}_3\text{H}_7\text{I}$ выбиралась в диапазоне от $1,5 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ моль/мин.

Определение толщины эпитаксиальных слоев CdTe проводили по спектрам ИК-пропускания образцов (фурье спектрометр Nicolet 6700).

Исследование макро- и микро-состава ЭС CdTe проводили методом вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС). Масс спектры образцов ЭС CdTe методом ВИМС были получены в ИФМ РАН на времяпролетном масс-спектрометре вторичных ионов TOF. SIMS-5.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования образцов методом ВИМС были зарегистрированы интересные нас линии ионов, а именно ^{127}I и шумовой сигнал I_{noise} из-за сильных линий изотопов теллура (^{128}Te , ^{126}Te). Затем из линии ^{127}I вычитался шумовой сигнал и разность делилась на интенсивность линии матрицы CdTe.

На рис. 1 приведен профиль концентрации йода в ЭС CdTe, полученных на подложках GaAs(100), (310) и (111)В, при разном входном потоке изопротилйодида в реактор.

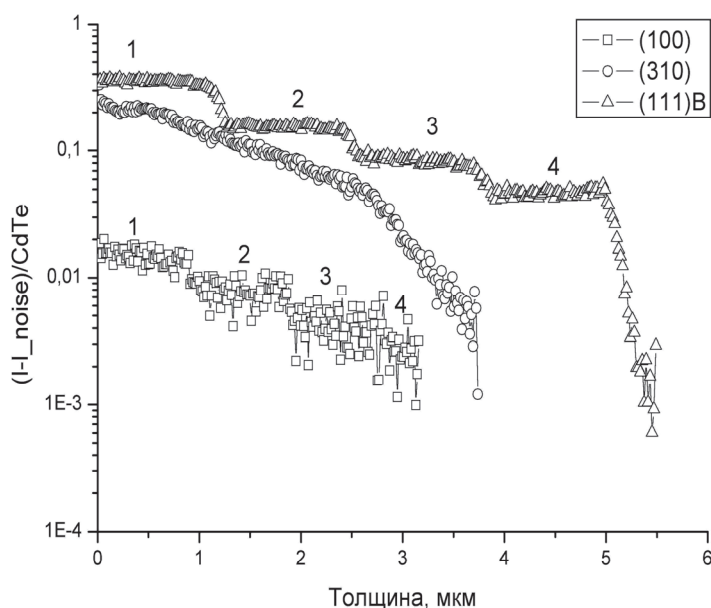


Рис. 1. Профиль концентрации йода в ЭС CdTe, полученных на подложках GaAs (100), (310), (111)В при различной концентрации изопротилйодида в газовой фазе (соотношение ДЭТ/ДМК=1). Поток $i\text{-C}_3\text{H}_7\text{I}$: 1 – $1 \cdot 10^{-6}$ моль/мин; 2 – $5 \cdot 10^{-7}$ моль/мин, 3 – $3 \cdot 10^{-7}$ моль/мин; 4 – $1,5 \cdot 10^{-7}$ моль/мин.

При увеличении потока изопротилйодида от $1,5 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ моль/мин содержание йода в ЭС CdTe прямо пропорционально увеличивается. Для ориентации (111)В и (100) четко видны ступеньки легирования. Для ориентации (310) наблюдается плавный спад концентрации йода в слоях при уменьшении концентрации изопротилйодида в газовой фазе. По-видимому, это можно объяснить большей шероховатостью поверхности (310), что приводит к сглаживанию концентрационного профиля и отсутствию резких границ между легированной и нелегированной областями. Концентрация йода (по убыванию) в слоях разной кристаллографической ориентации расположена в следующем порядке: (111)В-(310)-(100). Наличие ориентационной зависимости вхождения примеси свидетельствует о том, что осаждение лимитируется кинетикой поверхностных процессов, а не массопереносом в газовой фазе.

На рис. 2 представлен профиль концентрации йода в эпитаксиальных слоях CdTe, полученных в одном процессе на подложке GaAs (100) и (111)В с разным соотношением ДЭТ/ДМК. Соотношение ДЭТ/ДМК менялось в следующем порядке (начиная от подложки): 2/1 – 1/1 – 0,7/1.

При уменьшении соотношения ДЭТ к ДМК в процессе роста с 2 до 0,7 концентрация йода в слоях (при тех же условиях легирования) увеличивается почти в 4 раза.

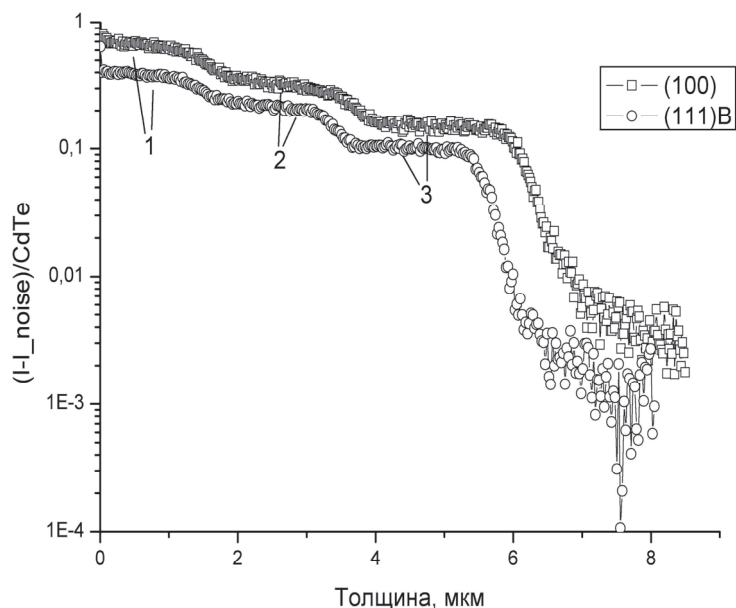


Рис. 2. Профиль концентрации йода в ЭС CdTe, полученных на подложках GaAs разной кристаллографической ориентации с изменяющимся соотношением ДЭТ/ДМК: 1 – ДЭТ/ДМК=0,7; 2 – ДЭТ/ДМК=1; 3 – ДЭТ/ДМК=2. Поток $i\text{-C}_3\text{H}_7\text{I}$ - $5 \cdot 10^{-7}$ моль/мин.

Выводы

1. Содержание йода в ЭС CdTe различной кристаллографической ориентации при осаждении в одинаковых условиях увеличивается в ряду (100) – (310) – (111)В.
2. Установлена линейная зависимость концентрации йода в слоях от концентрации изопротилйодида в газовой фазе в интервале потоков $1,5 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ моль/мин.
3. При уменьшении соотношения ДЭТ/ДМК с 2 до 0,7 при прочих одинаковых условиях концентрация йода в ЭС CdTe увеличивается почти в 4 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Triboulet R., Siffert P. CdTe and Related Compounds; Physics, Defects, Hetero- and Nano-structures, Crystal Growth, Surfaces and Applications. // Elsevier Science. – 2010, Part II, p. 73-76.
2. Niraula M., Aoki T., Nakanishi Y., Hatanaka Y. Growth and doping studies of CdTe epilayers on GaAs substrates by low-pressure plasma-radical-assisted metalorganic chemical vapor deposition. // Journal of Crystal Growth. – 1991, v. 200, p. 90-95.
3. Мусеев А.Н., Чилисов А.В., Степанов Б.С., Савлинов К.Е., Котков А.П., Гришнова Н.Д. Выращивание эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ на подложках GaAs большого диаметра химическим осаждением из паров МОС и ртути. // Успехи прикладной физики. – 2013, т.1, № 2, с. 209-215.