

Исследование изменения химического состава поверхности образцов $Cd_xHg_{1-x}Te$ при обработке в активированных высокочастотным разрядом газах N_2O и H_2

© В.В. Васильев, Т.И. Захарьяш, В.Г. Кеслер[¶], И.О. Парм, А.П. Соловьев

Институт физики полупроводников Сибирского отделения Российской академии наук,
630090 Новосибирск, Россия

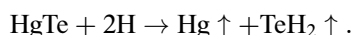
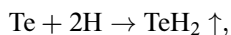
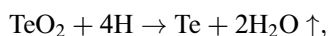
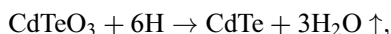
(Получена 16 июня 2000 г. Принята к печати 4 июля 2000 г.)

Исследовано изменение химического состава поверхности $Cd_xHg_{1-x}Te$ при обработке атомарными пучками кислорода и водорода, полученными методом электронного удара в высокочастотной плазме N_2O и H_2 . Показано, что последовательное воздействие пучков атомарного кислорода и водорода приводит к удалению с поверхности образцов углеродосодержащих соединений, слоя собственного оксида и теллура в элементном состоянии.

В настоящее время применяется большое количество методов пассивации поверхности соединений на основе кадмия, ртути и теллура (КРТ) с последующим формированием диэлектрических защитных пленок. Широко используются методы вакуумного напыления слоев сульфида цинка, молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) и МОС-гидридной эпитаксии пленок теллурида кадмия, пиролитического и плазмохимического осаждения слоев диоксида кремния и нитрида кремния [1–3].

Реальная поверхность полупроводников $A^{IV}B^{VI}$ всегда покрыта слоем собственного оксида толщиной 1–3 нм, образующегося в результате взаимодействия подложки с окислительными компонентами травителя и атмосферным кислородом. Химический состав этого оксида существенно зависит от способа химической обработки полупроводника, соотношения компонентов травителя и типа растворов, применяемых для отмычки поверхности. В процессе синтеза диэлектрика химический состав собственного оксида может также претерпевать значительные химические превращения, что в конечном итоге оказывает негативное влияние на параметры фотоэлектронных приборов.

В литературе широко обсуждается идея получения структур на полупроводниках $A^{IV}B^{VI}$ с бескислородной границей раздела, т.е. полного удаления собственного оксида с последующим синтезом диэлектрического слоя [4]. В работе [4] предлагается вариант направленной обработки поверхности полупроводника атомарным водородом, полученным методом термического разложения H_2 на нагретой вольфрамовой нити. По мнению авторов, в этих условиях (температура подложки $T = 80^\circ C$) возможно протекание следующих восстановительных реакций:



Элементарная ртуть при этом термически десорбируется с поверхности полупроводника. Согласно представленной модели, удаление оксидных и элементных фаз с поверхности КРТ теоретически достижимо. В то же время очистка поверхности подложки от углеродсодержащих загрязнений (остатки органических растворителей после отмычки и т.д.) с помощью атомарного водорода невозможна с точки зрения химической термодинамики [5]. Углеродсодержащие частицы удаляются с поверхности активированным (например, с помощью высокочастотного (ВЧ) разряда) кислородом. В качестве газа-реагента в таких процессах может применяться закись азота, имеющая низкую энергию диссоциации молекул ($E = 1.7 \text{ эВ}$). На наш взгляд, в развитии технологии совершенствования границы раздела "диэлектрик–КРТ" является перспективным совмещение обработок поверхности атомарными пучками кислорода (удаляются углеродсодержащие загрязнения) и водорода (восстанавливается слой собственного оксида и удаляются элементные фазы).

В нашей работе были проведены исследования влияния на поверхность КРТ атомарных пучков водорода и кислорода, полученных методом электронного удара в высокочастотной ($f = 13.56 \text{ МГц}$) плазме. Использование в технологической установке двухкамерного реактора с пространственным разделением зон расположения подложек и горения ВЧ разряда исключало ионное и электронное воздействие плазмы на поверхность образцов КРТ [6]. Установка позволяла также наносить диэлектрический слой непосредственно после обработки атомарным пучком без извлечения образца из реактора.

Предварительные электрофизические исследования МДП структур, изготовленных на основе КРТ, показали, что наблюдаются сильные зависимости электрофизических параметров от условий проведения процессов обработки поверхности полупроводника (природы газа-реагента, температуры подложки, времени воздействия активированного газа и т.д.). С целью выяснения причин значительного изменения параметров МДП структур было проведено исследование химического состава поверхности исследуемых подложек.

[¶] E-mail: kesler@isp.nsc.ru

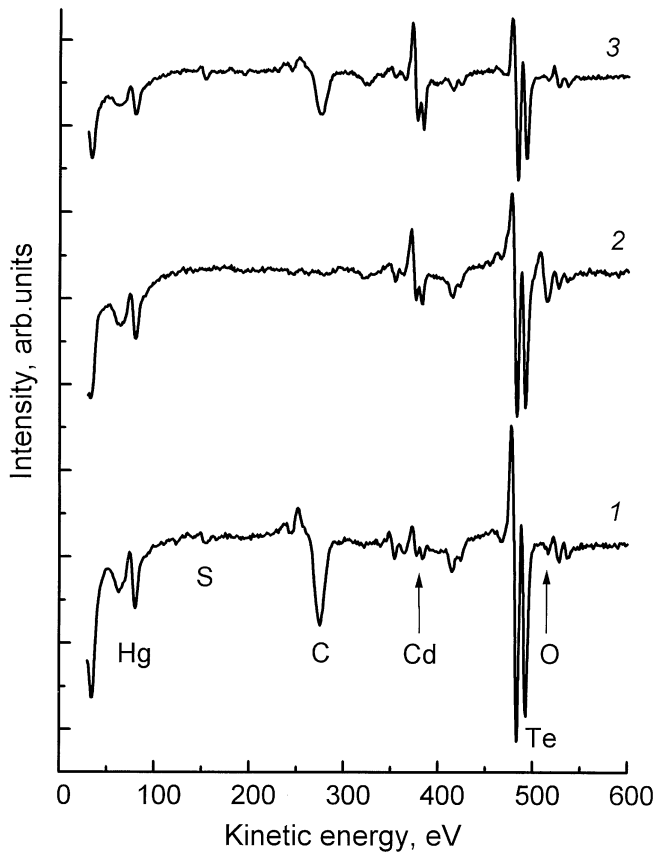


Рис. 1. Оже-спектры поверхности образца $\text{Cd}_{0.22}\text{Hg}_{0.78}\text{Te}$: 1 — исходная поверхность, 2 — после обработки атомарным пучком кислорода, 3 — после обработки атомарным пучком водорода.

Анализ проводился методами оже-электронной спектроскопии (ОЭС) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Эти методы чувствительны исключительно к нескольким верхним монослоям образца и являются взаимодополняющими, их сочетание позволяет определять как элементный состав исследуемой поверхности, так и химическое состояние атомов. ОЭС спектры поверхности образцов были получены на анализатора ОРС-2 фирмы "Riber" с относительным разрешением по энергии $\Delta E/E = 0.2\%$. Для возбуждения спектра вторичных электронов использовался электронный пучок с энергией 3 кэВ. Диаметр электронного пучка составлял 5 мкм, ток пучка 100 нА. РФЭС спектры были получены на анализаторе типа двухкаскадное цилиндрическое зеркало MAC-2 фирмы "Riber". Для возбуждения рентгеновского излучения использовался источник с Mg-анодом с энергией линии Mg равной 1253.6 эВ. Диаметр рентгеновского пучка составлял 5 мм, мощность источника 300 Вт, разрешение анализатора по энергии составляло 0.5 эВ и было постоянным во всем диапазоне измеряемых энергий.

Объектами исследования являлись объемные образцы p -типа $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($x = 0.22$), прошедшие химико-меха-

ническую полировку (удален нарушенный слой на глубину 100 мкм), химико-динамическую полировку в бром-этанольном травителе (снят нарушенный слой 10 мкм) и отмывку в трех порциях ацетона и деионизованной воде. Обработка в газах, активированных высокочастотным разрядом, производилась при температуре подложки равной 80°C. В настоящей работе мы представляем результаты исследования химического состава четырех образцов КРТ:

№ 1 — исходный образец после химической подготовки и отмывки;

№ 2 — образец, обработанный в закиси азота, активированной ВЧ разрядом ($t = 30$ с);

№ 3 — образец, обработанный в водороде, активированном ВЧ разрядом ($t = 30$ с);

№ 4 — образец, прошедший последовательно те же обработки, что и образцы № 2 и № 3, в течение 60 с.

Для исследования химического состава поверхности все образцы переносились из реактора в установку через атмосферу с одинаковым временем нахождения образцов на атмосфере. На исходных поверхностях образцов № 1–№ 4 наблюдались пики элементов Te, Cd, Hg,

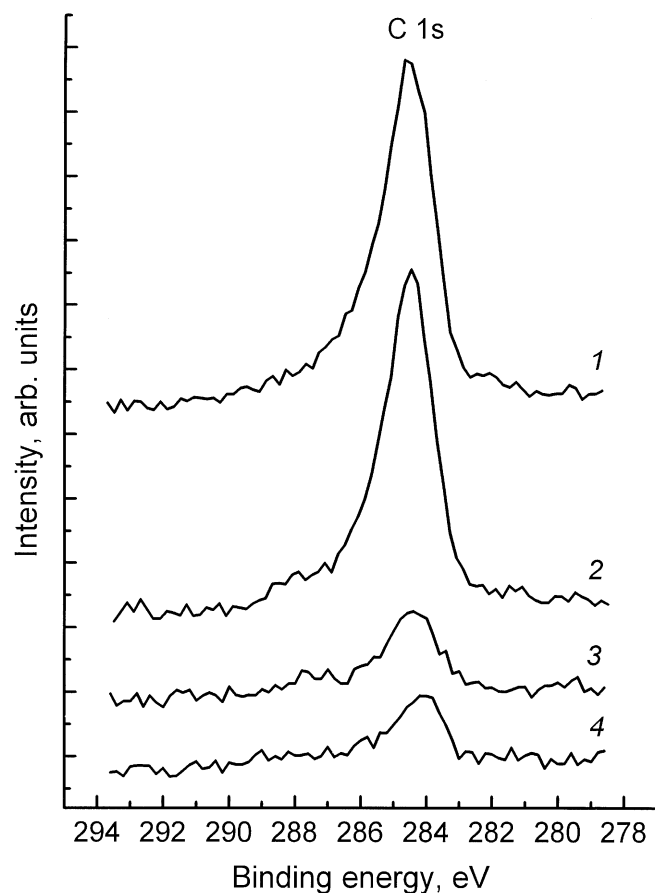


Рис. 2. Рентгеновские фотоэлектронные спектры C-1s с поверхности образца $\text{Cd}_{0.22}\text{Hg}_{0.78}\text{Te}$: 1 — исходная поверхность, 2 — после обработки атомарным пучком водорода (образец № 3), 3 — после обработки атомарным пучком кислорода (образец № 2), 4 — после комбинированной обработки.

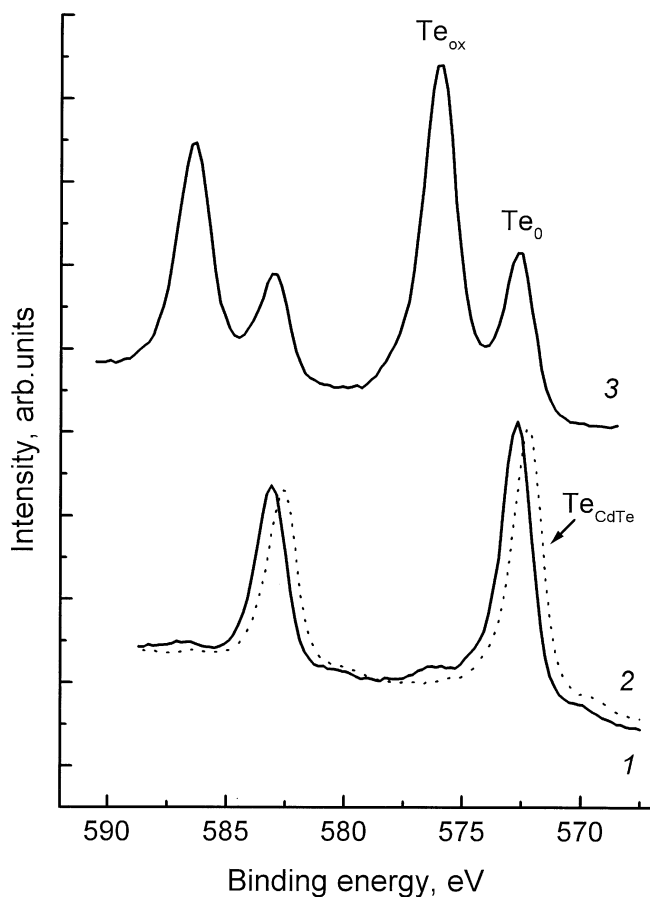


Рис. 3. Рентгеновские фотоэлектронные спектры $Te-3d$ с поверхности образца $Cd_{0.22}Hg_{0.78}Te$: 1 — исходная поверхность, 2 — после обработки атомарным пучком водорода (образец № 3), 3 — после обработки атомарным пучком кислорода (образец № 2).

О и С. Других элементов не обнаружено с точностью нескольких атомных процентов. Концентрация углерода на поверхности образцов № 2, № 4 значительно ниже, чем на поверхности образцов № 1, № 3 (рис. 1, 2), что подтверждает выводы работы [5] о невозможности очистки поверхности подложки от углеродсодержащих загрязнений исключительно с помощью атомарного водорода. Необходимо особо отметить, что применение комбинированной обработки (образец № 4) позволяет закрепить эффект очистки поверхности от углеродных загрязнений.

Важную информацию несет энергетическое положение наблюдаемого на РФЭС спектрах исследуемых образцов фотоэлектронного пика теллура — $Te-3d_{5/2}$ (рис. 3). Так, для образца № 2 наблюдается ярко выраженное расщепление на два пика с энергиями связи 576.1 и 572.8 эВ, соответствующими окисленному и элементному (металлическому) состоянию теллура [4]. В предположении, что пик с меньшей энергией связи представляет собой сигнал от подложки, ослабляемый тонкой пленкой оксида, можно рассчитать толщину плен-

ки оксида, которая в нашем случае составляет ~ 1.6 нм. Аналогичный расчет для исходного образца (№ 1) дает величину ~ 0.2 нм, и теллур под тонким слоем оксида также наблюдается в металлическом состоянии. На поверхности образцов, обработанных атомарным водородом (№ 3) и после комбинированной обработки (№ 4), оксидная пленка отсутствует и теллур находится в соединении $CdHgTe$ с энергией связи 572.3 эВ.

Таким образом предлагаемая комбинированная обработка поверхности образцов КРТ атомарными пучками О и Н, полученными с помощью высокочастотного разряда, приводит к эффективному удалению атомов углерода, поверхностной окисной пленки и также теллура, находящегося в элементном состоянии. Предложенный способ подготовки поверхности подложек КРТ может эффективно использоваться в технологии изготовления структур на их основе.

Список литературы

- [1] C.H. Lee, S.W. Paik, J.W. Park, Jaesun Lee, Y.M. Moon et al. *J. Electron. Mater.*, **27** (6), 668 (1998).
- [2] Y. Nemirovsky, N. Amir, D. Goren, G. Asa, N. Mainzer, E. Weiss. *J. Electron. Mater.*, **24**, 1161 (1995).
- [3] V.M. Emerksuzyan, L.N. Romashko, G.Y. Saleeva, N.I. Zakharyash, N. Kh. Talipov, V.V. Vasilyev, V.N. Ovsyuk. *Extended Abstracts of the 1995 International Conference on Solid State Devices and Materials*, Aug. 24–24, 1995 (Osaka, Japan) p. 1061.
- [4] L.S. Hirsch, K.S. Ziemer, M.R. Richards-Babb, C.D. Stinespring, T.H. Myers. *Thierry Colin. J. Electron. Mater.*, **27**, 651 (1998).
- [5] K. Asakawa, S. Sugata. *J. Vac. Sci. Technol.*, **A4**, 677 (1986).
- [6] И.И. Мараховка, И.О. Парм, Л.С. Ронжин, А.П. Соловьев. А.с. СССР № 1378767, МКИ H05H 1/00; № 4038579/31–25.

Редактор Т.А. Полянская

Investigation of the change in $Cd_xHg_{1-x}Te$ surface chemical structure under processing in N_2O and H_2 gases activated by a high-frequency discharge

V.V. Vasilyev, N.I. Zakharyash, V.G. Kesler, I.O. Parm, A.P. Soloviev

Institute of Semiconductor Physics,
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
630090 Novosibirsk, Russia

Abstract The change in $Cd_xHg_{1-x}Te$ surface chemical composition is investigated during the processing by atomic beams of oxygen and hydrogen, obtained by a method of the electronic impact in a high-frequency plasma (N_2O and H_2). It is shown that consecutive treatment by beams of atomic oxygen and hydrogen results in removing from the sample surface as carbon impurities as well as layer of as-grown oxide and metallic tellurium.