

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫСОТУ БАРЬЕРА КОНТАКТА МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК ПРИ ЕГО ФОРМИРОВАНИИ

© Н.М.Ушаков, С.С.Гельбух, В.И.Петросян

Саратовский филиал института радиотехники и электроники РАН,
410720 Саратов, Россия
(Поступило в Редакцию 19 февраля 1996 г.)

Известно, что функциональные возможности полупроводниковых приборов на основе барьерных контактов металл-полупроводник зависят от высоты сформированного барьера. Так, если в широко применяемых фотодетекторах для улучшения обнаружительной способности стараются повысить высоту барьера контакта металл-полупроводник, сделав ее выше 0.7 эВ, то в быстродействующих фотодетекторах с внутренним усилением, наоборот, высота барьера не должна превышать 0.65 эВ [1]. Электрические свойства контакта металл-полупроводник определяются не столько объемными характеристиками полупроводникового материала (шириной запрещенной зоны, типом полупроводника, плотностью и подвижностью носителей и т.п.), сколько плотностью локализованных на границе раздела электронных состояний. В свою очередь плотность таких поверхностных состояний связана с характеристиками границы раздела: с градиентным составом, кристаллической структурой, наличием и природой дефектов, с изменением этих характеристик во времени или под влиянием сильных возмущений, таких как термический и лазерный отжиг.

Таким образом, исследования методов управления высотой барьера, связанных с протеканием химических реакций на границе раздела контакта металл-полупроводник под действием внешних возмущений, имеют большое фундаментальное и практическое значение.

Выбор металла для использования микроскопических свойств границы раздела достаточно широк. Однако металлами, например, для арсенида галлия, наиболее подходящими для исследования сравнительного влияния количества и природы образовавшихся связей и не проявляющихся эффектов замещения, взаимодиффузии при комнатной температуре, являются алюминий, индий и галлий [2].

До формирования границы раздела контакт металл-полупроводник химический состав свободной поверхности полупроводника и протекание поверхностных химических реакций существенно зависят от предварительной химической обработки [3,4] и внешних воздействий, например отжига в плазме [5].

В настоящей работе предпринята попытка связать формирование барьера контакта металл-полупроводник Al-n-GaAs с изучением химического состава поверхности арсенида галлия при различных температурах в условиях сверхвысокого вакуума.

Для исследования химического состава поверхности подложки, состоящей из полуизолирующего арсенида галлия (110) с нанесенным

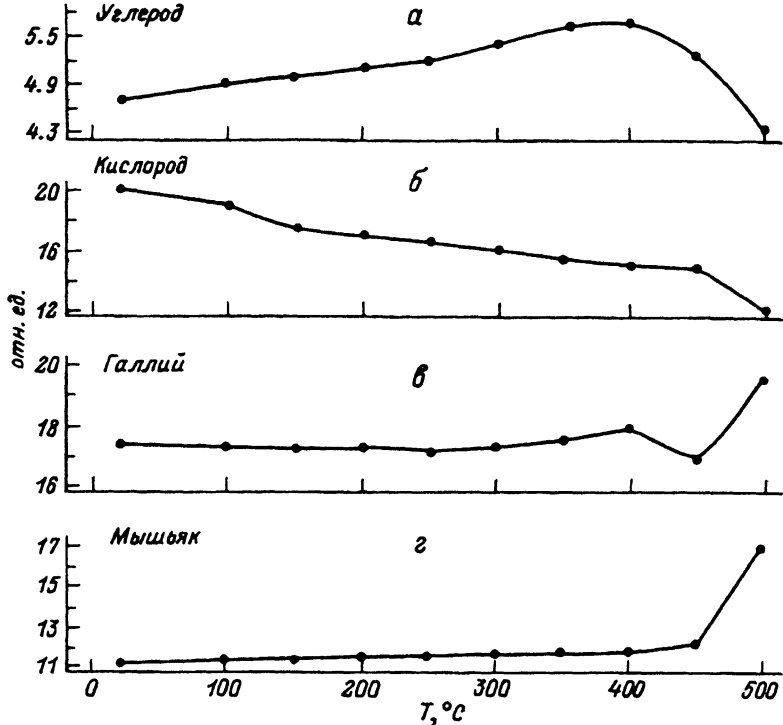


Рис. 1.

эпитаксиальным слоем арсенида галлия n -типа (концентрация носителей составляла $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$), перед формированием барьерных контактов из алюминия использовался метод оже-электронной спектроскопии. Предварительная химическая обработка пластин GaAs проводилась по известной методике [3], обеспечивающей минимальное процентное содержание углерода в ее поверхностном составе. Напыление алюминия и оже-спектральный анализ производились *in situ* в отдельных камерах напылительно-аналитического сверхвысоковакуумного комплекса ЭС-2301. Количественный оже-анализ подложек проводился в трех случаях: 1) сразу после химической обработки, 2) после дополнительной очистки ультрафиолетовым облучением в кислороде [6], 3) после отжига в высоком вакууме. Методика проведения количественных оценок химического состава описана в [7,8]. В используемой модели при расчетах предполагалось, что на поверхности очищенной подложки арсенида галлия находится полупрозрачный слой, содержащий атомы углерода и кислорода $\text{Co}_x\text{n-GaAs}$. После химической очистки толщина пленки загрязнений на поверхности арсенида галлия была больше 3 монослоев, после УФ очистки — меньше 3 монослоев. Последующий термический отжиг снижал количество загрязнений до 0.05 монослоя.

Измерения высоты сформированного барьера проводились методом вольт-амперных характеристик с помощью измерителя Е7-12.

На рис. 1, а-г приведены экспериментально полученные температурные зависимости химического состава свободной границы арсе-

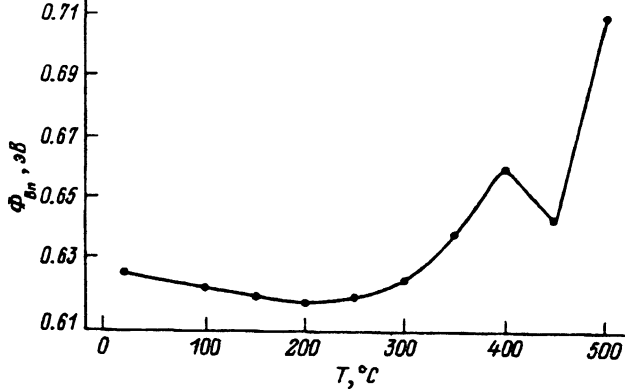


Рис. 2.

нида галлия. Химический состав представлен четырьмя основными элементами: углеродом, кислородом, галлием и мышьяком соответственно.

На рис. 2 показана температурная зависимость измеренной высоты барьера контакта металл-полупроводник Al-n-GaAs. Измеряемая структура представляла собой два круглых металлических электрода диаметром 0.7 мм, нанесенных через маску на свободную поверхность арсенида галлия. В полученной системе двух диодов Шоттки один из диодов включался в прямом направлении (положительное смещение на электроде), а другой — в обратном. При этом практически все напряжение смещения прикладывалось к закрытому диоду. По значению тока насыщения в диапазоне напряжений 0.1–0.2 В, когда падения напряжения на обоих диодах еще были сравнимы между собой, и крутизне обратной вольт-амперной характеристики в полулогарифмическом масштабе определялись высота барьера и фактор неидеальности. Значения фактора неидеальности контакта металл-полупроводник составили от 1.05 до 1.5. Высота барьера изменялась от 0.61 до 0.71 эВ.

Все приведенные на рисунках зависимости представляли собой математическое ожидание измеренных характеристик не менее четырех образцов арсенида галлия. Как следует из приведенных зависимостей, высота барьера контакта металл-полупроводник растет с ростом температуры, при которой он формировался. При этом обнаружен локальный максимум высоты барьера в окрестности 400 °С. Известно, что высота барьера контакта металл-полупроводник определяется пиннингом уровня Ферми в полупроводнике. При этом, согласно дефектной теории (модель Бардина-Хейне), этот пиннинг вызывается вторично индуцированными электронными состояниями — уровнями дефектов, созданных на поверхности полупроводника [9]. Известны два основных вида дефектов: двойной акцепторный дефект типа Ga_{As} (атом галлия над атомом мышьяка) и двойной донорный дефект As_{Ga} (атом мышьяка над атомом галлия). Положение уровня Ферми определяется относительной плотностью этих дефектов на границе раздела металл-полупроводник. Благодаря наличию двойного акцептора Ga_{As} осуществляется пиннинг уровня Ферми на уровнях 0.5 и 0.75 эВ. Если уровень Ферми расположен выше 0.5 эВ от потолка валентной зоны, значит, As_{Ga} > Ga_{As}, если ниже 0.5 эВ, то Ga_{As} > As_{Ga}. Таким обра-

зом, для пиннинга уровня Ферми в n -GaAs основным является двойной акцепторный дефект Ga_{As} .

Из анализа поведения четырех компонент состава свободной границы арсенида галлия при различных температурах, приведенных на рис. 1, следует, что с ростом температуры подложки количество атомов галлия медленно возрастает, достигая небольшого подъема вблизи 400°C , в то время как количество атомов мышьяка монотонно возрастает вплоть до 450°C . Возможно, локальный максимум галлия в окрестности 400°C выглядел бы более ярко при отсутствии максимума углерода и той же температуре. Таким образом, феномен локального максимума галлия в окрестности 400°C можно объяснить тем, что вблизи этой температуры диффузия атомов галлия к поверхности начинает расти и соотношение потока атомов галлия к атомам мышьяка становится больше единицы. Тем самым плотность акцепторных дефектов начинает превосходить плотность донорных. Последующее уменьшение плотности акцепторных дефектов связано с уменьшением атомов галлия в составе поверхности подложки за счет образования различных его соединений типа GaO , Ga_2O_3 различных модификаций и т. д. Создание оксидного промежуточного слоя контакта металл-полупроводник значительно уменьшает пиннинг уровня Ферми за счет снижения плотности поверхностных состояний и приближает механизм формирования барьера к идеальной модели Шоттки, когда высота барьера определяется в основном разностью работ выхода металла и полупроводника.

Таким образом, поведение высоты барьера контакта металл-полупроводник на рис. 2 можно объяснить двумя механизмами формирования барьера: 1) моделью Бардина-Хейне с помощью дефектной теории в интервале температур 20 – 450°C , когда плотность поверхностных состояний велика и плотность акцепторных дефектов превосходит плотность донорных; 2) моделью Шоттки за счет уменьшения пиннинга уровня Ферми при образовании поверхностных оксидов галлия при температуре подложки свыше 450°C .

Список литературы

- [1] *Ushakov N.M., Petrosyan V.I., Solodky A.N. et al. // J. Adv. Sci. (Japan) 1991. Vol. 3. N 3. P. 145.*
- [2] *Bolmont D., Chen P., Mercier V. et al. // Physica. 1983. Vol. 117–118. P. 816.*
- [3] *Дворянкина Г.Г., Яссен М.Л., Дворянкин В.Ф. и др. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1987. № 1. С. 89.*
- [4] *Lu Z.H., Lagarde C., Saher E. et al. // J. Vac. Sci. Technol. 1989. Vol. 7. N 3. P. 646.*
- [5] *Yonichi Kuriyama, Shin-ichi Ohfuji. // J. Appl. Phys. 1989. Vol. 66. N 6. P. 2446.*
- [6] *Tabe M. // Appl. Phys. Lett. 1984. Vol. 45. N 20. P. 1073–1075.*
- [7] *Chang C.C. // J. Surf. Sci. 1975. N 48. P. 9.*
- [8] *Гельбух С.С., Джумалиев А.С., Ушаков Н.М. и др. // Обзоры по электронной технике. Сер. 7. М., 1992. Вып. 4. 61 с.*
- [9] *Freouf J.L. // Surf. Sci. 1983. Vol. 132. N 1/3. P. 233.*