ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРОФИЛЕЙ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ГЛУБИНЕ СИСТЕМЫ Ni-GaP-SnO₂

А.А. Абдувайитов, Х.Х. Болтаев

Ташкентский государственный технический университет, 100095 Ташкент, Узбекистан

khurshid.boltaev@gmail.com

(Получена 10.05.2018)

Ni-GaP-SnO₂ (ситал) тизими киришма атомларининг чуқурлиги бўйича тақсимоти профилига юқори вакуум шароитида бошланғич ҳароратли қиздиришнинг таъсири ўрганилди. Бундай қиздириш натижасида Ni-GaP чегарасида кислород ва углеводород концентрациясининг кескин пасайишига (2-3 мартагача) ва бунга мос ҳолда омик контактининг яхшиланишига олиб келади

Изучено влияние предварительного температурного прогрева в условиях высокого вакуума на профили распределения примесных атомов по глубине системы Ni-GaP-SnO₂ (ситал). Показано, что такой прогрев резко уменьшает (до 2-3 раз) концентрацию кислорода и углерода на границе Ni-GaP, соответственно улучшается качество омического контакта.

The effect of preliminary temperature heating under high vacuum conditions on the distribution profiles of impurity atoms over the depth of the Ni-GaP-SnO₂ (sital) system is studied. It is shown that such heating sharply reduces (up to 2-3 times) the concentration of oxygen and carbon at the Ni-GaP boundary, accordingly, improves the quality of the ohmic contact.

I. ВВЕДЕНИЕ

Известно [1, 2], что для решения ряда технических задач, например, в создании устройств для корреляционной обработки оптических и электрических сигналов, широко используются фоторезистивные плёнки из GaP, CdS и др., осажденные на прозрачные диэлектрические подложки с прозрачными металлизированными слоями типа ситала SnO₂. На поверхность таких полупроводниковых плёнок наносятся контакты в виде полос из благородных металлов (никель, серебро и др.). Полупроводниковые структуры типа ситал Ni-GaP-SnO₂ или Ni-CdS-SnO₂ и др. создаются путем последовательного вакуумного напыления (осаждения) отдельных компонентов. Качество и работоспособность устройств и приборов, создаваемых на базе таких полупроводниковых структур, очевидно, будут зависеть, прежде всего, от чистоты материалов отдельных слоев (плёнок) и наличия четких границ между указанными слоями структуры, а также от возможного образования химических соединений между атомами элементов отдельных слоев, где они соприкасаются друг с другом. При этом особенно нежелательным является образование большого количества окиси металла на границе металл-полупроводник, приводящее к увеличению сопротивления контакта.

Для улучшения работоспособности устройств и приборов, создаваемых на основе таких полупроводниковых структур, необходимо контролировать чистоту отдельных слоев и наличие чётких границ между слоями, а также присутствие химических соединений между атомами веществ различных слоев. В связи с этим основной целью настоящей работы является исследование наличия различных

примесей и концентрационных профилей распределения этих примесей по глубине системы Ni-GaP-SnO₂ (подложка ситал), получаемых в реальных условиях их роста.

II. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Структура Ni-GaP-SnO₂ получена путем испарения и затем осаждения молекулярных потоков материалов отдельных компонентов на диэлектрическую подложку типа ситал. На подложку сначала осаждали слой SnO₂ толщиной 1 мкм, а затем на его поверхность слой GaP толщиной 1 мкм. На отдельные области поверхности плёнки GaP осаждали никелевый контакт в виде полосы толщиной около 1 мкм. Перед осаждением пленок подложку (ситал) обезгаживали при $T=900$ К в течение 5–6 часов. Осаждение проводили в условиях высокого вакуума ($P=10^{-4}$ Па) в двух режимах. В первом режиме пленки осаждали последовательно в одинаковых условиях без прогрева. Во втором режиме после осаждения определенного типа пленки проводили прогрев в течение 1 часа: после осаждения SnO₂ при $T=900$ К, после осаждении GaP при 750 К, после осаждение Ni при 700 К. Состав поверхности контролировали методом оже-электронной спектроскопии (ОЭС), профиль распределения снимали методом ОЭС в сочетании с травлением поверхности ионами Ag⁺. Энергия ионов составляла 3 кэВ, плотность тока 0.5–1 мкА·см⁻², пучок падал на поверхность мишени под углом ~80° относительно нормали.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 приведены спектры оже-электронов никелевого контакта структуры Ni-GaP-SnO₂, полученные в двух режимах. В верхнем спектре (а), полученного без

Рис. 1. Энергетические спектры оже-электронов, эмитированных поверхностью никелевого контакта структуры (SnO-GaP-Ni) под действием пучка первичных электронов с $E_0=3$ кэВ до (а) и после (б) очистки ионным травлением Ag⁺ ($E_0=6.7$ кэВ. 500 Å)

обезгаживания пленок, наблюдаются интенсивные оже-пики примесных атомов С, О, N, а также малоинтенсивные пики К, Na, Cr, Mn, Ag. В оже-спектрах, полученных во втором режиме, содержание примесных атомов резко уменьшается. Аналогичная картина наблюдается и в случае оже-спектров, снятых с участков GaP, не покрытых атомами Ni (рис. 2). Результаты экспериментов показывают, что поверхность как никелевого контакта, так и полупроводника GaP в основном загрязнена атомами С, О и N, концентрация которых в случае предварительно обезгаженных пленок значительно меньше. Следовательно, интенсивности оже-пиков основных элементов ((никеля рис. 1б) а также Ga и P (рис. 2б)) резко возрастают.

Рис. 2. Энергетические спектры оже-электронов, эмитированных поверхностью пленки GaP под действием пучка первичных электронов с энергией $E_0=3$ кэВ до (а) и после (б) очистки ионным травлением Ar^+ с $E_0=6.7$ кэВ.

На основе анализа оже-спектров, снятых в сочетании с ионным травлением, были построены графики профилей распределений концентраций элементов Ni, Ga, P, Sn, O, C для системы Ni-GaP-SnO₂, полученной в первом режиме (рис. 3). Из рис. 3, видно, что резкая граница между пленкой Ni и GaP отсутствует, что обусловлено, по-видимому, процессом взаимной диффузии атомов и их примесей в указанных пленках во время роста. Отметим, что по мере увеличения глубины концентрация углерода монотонно уменьшается. Можно полагать, что атомы углерода в основном появляются на поверхности в процессе имплантации никеля.

Наличие в объеме и на поверхности плёнки GaP примесных элементов О, К, Na, и др, по-видимому, является основной причиной изменения удельных сопротивлений металлических контактов, наносимых на поверхность полупроводниковых плёнок. Действительно, примесные элементы из числа щелочных металлов и кислорода, находясь на поверхности полупроводниковых плёнок, мигрируют и могут собираться на границе между металлическим контактом и плёнкой, что соответственно приводит к окислению и образованию щелочно-металлических соединений [3].

Из низкоэнергетической части оже-спектра Ni, снятого после послойного травления поверхности Ni в пределах 0.4; 0.8 и 1.0 мкм (рис. 4) видно, что вблизи $M_2M_4M_5$ пика Ni ($E = 61$ эВ), начиная с глубины ~ 0.6 мкм, появляется спутный пик с энергией 54 эВ.

Рис. 3. Графики профилей распределений концентраций элементов Ni, Ga, P, O, Sn, C для системы Ni-GaP-SnO₂-ситал.

Рис. 4. Низкоэнергетические оже-пики никеля с энергией 61 эВ (переход $M_2M_4M_5$), полученные после травления поверхности в пределах 1, 2 и 3 ионным травлением.

Расчет энергии оже-пиков осуществляли с помощью формулы, использованной нами в [2] для определения величины химического сдвига

$$\Delta E(\text{Ni} \rightarrow \text{NiO}_{n-1}) = \frac{\Delta E(\text{Ni} \rightarrow \text{NiO}_n) \Delta Z_{\text{эфф}}(\text{Ni} \rightarrow \text{NiO}_{n-1})}{\Delta Z_{\text{эфф}}(\text{Ni} \rightarrow \text{NiO}_n)}, \quad (1)$$

где $\Delta E(\text{Ni} \rightarrow \text{NiO}_n)$ и $\Delta E(\text{Ni} \rightarrow \text{NiO}_{n-1})$ – химический сдвиг оже-пика никеля в соединениях NiO₂ и NiO, $\Delta Z_{\text{эфф}}(\text{Ni} \rightarrow \text{NiO}_{n-1})$ – изменение эффективного заряда никеля в соединении NiO, а $\Delta Z_{\text{эфф}}(\text{Ni} \rightarrow \text{NiO}_n)$ – изменение эффективного заряда атома никеля в NiO_n. Анализ показал, что оже-пик с энергией 54 ± 1 эВ соответствует соединению NiO (или NiO₂). Максимальная концентрация кислорода на границе контакта Ni-GaP составляет 10–15%. Такое количество кислорода вызывает окисление значительной части Ni вблизи границы, что приводит к увеличению сопротивления контакта [4, 5].

В случае пленочной системы Ni-GaP-SnO₂, полученной во втором режиме, концентрация примесей на границе Ni-GaP была в 2–3 раза меньше, чем в первом режиме. На рис. 5 приведены профили распределения атомов Ni, Ga, C и O по глубине система Ni-GaP-SnO₂-ситал, полученные в режиме 2. Видно, что в этом случае не только резко уменьшается концентрация примесных атомов по всей

глубине системы, но и более четко выделяется граница между пленками Ni и GaP. Однако на границе раздела наблюдается некоторое увеличение концентрации атомов O и C.

Рис. 5. Профили распределения атомов Ni, C, O и Ga по глубине на границе системы Ni-GaP.

Таким образом, результаты экспериментов показывают, что для получения надежных омических контактов в системах типа металл-полупроводник необходимо проводить обезгаживание в условиях высокого вакуума после каждого цикла осаждения полупроводниковых и диэлектрических пленок.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Nilavazhagan, S. Muthukumazan, M. Ashokkumar, Journal of Materials Science: Materials in Electronics **26**, 3989 (2015).
2. Б.Е. Умирзаков, С.Ж. Ниматов, Х.Х. Болтаев, Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. № 9, 87 (2014).
3. А.А. Абдувайитов, Х.Х. Болтаев, ЖТФ **85**, Вып. 4, 145 (2015).
4. А.А. Алиев, Ш.А. Мирсагатов, С.А. Музаффарова, А.А. Абдувайитов. В трудах Международной конференции по фундаментальным и прикладным вопросам физики (Ташкент 2004, С. 211-214).
5. С.А. Кривелевич, Е.А. Ускова, Химическая физика и медоскопия **13**, № 2, 238 (2011).