

Міністерство освіти України
Ужгородський державний університет
Академія наук України
Наукова рада з проблеми «Фізика напівпровідників»

М А Т Е Р І А Л И
доповідей V-ї Української конференції
«Фізика і технологія тонких плівок
складних напівпровідників»
(24—26 червня 1992 р.)

Ужгород — 1992

СМАЧИВАНИЕ И ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В СИСТЕМЕ Pb/Ni/GaAs

Н.Т.Гладких, И.П.Гребенник, С.В.Дукаров
Харьковский госуниверситет

Исследования взаимодействия расплава с тонкой пленкой, нанесенной на массивную подложку, представляют значительный научный и практический интерес, поскольку в этом случае предоставляется возможность управлять смачиванием в широких пределах, варьируя толщину промежуточного слоя. Ранее было установлено, что в таких системах с ростом толщины пленки наблюдается изменение краевого угла смачивания в пределах значений, соответствующих смачиванию чистой подложки (при толщинах пленки $t \rightarrow 0$) и смачиванию вещества пленки в компактном состоянии (при $t > t_{кр}$). Значения $t_{кр}$ обычно составляют 5 - 100 нм и определяются в основном характером физико-химического взаимодействия компонентов.

В настоящей работе выполнены исследования смачивания в тройной системе "микрокапли свинца - пленка никеля переменной толщины - монокристалл арсенида галлия". Образцы препарировались конденсацией металлов на полированную поверхность GaAs (грань (111)) при температуре 870 К в вакууме 10^{-4} Па. Массовая толщина пленок контролировалась кварцевым генератором и составляла 1 - 50 нм для никеля и 5 - 10 нм для свинца. Краевые углы смачивания (θ) измерялись на металлографическом микроскопе МММ-8М на закристаллизовавшихся каплях размером 5 - 20 мкм.

Установлено, что угол θ зависит от толщины пленки никеля и изменяется следующим образом. При малых t краевой угол стремится к значению, соответствующему смачиванию чистого GaAs ($\theta \sim 120^\circ$). При толщине пленок никеля $t > 20$ нм угол θ имеет постоянное значение $\theta \sim 20^\circ$, соответствующее смачиванию свинцом никеля в компактном состоянии. Изменение краевого угла происходит в интервале $0 < t < 18$ нм и может быть связано с растворением никеля в жидком свинце и с образованием химических соединений на границе пленка никеля - монокристалл GaAs. При этом на зависимости $\theta(t)$ наблюдается особенность, которой не было в ранее изученных тройных системах [1]. В интервале $6 < t < 14$ нм смачивание не меняется с толщиной ($\theta \sim 75^\circ$), что указывает на наличие в системе промежуточной фазы, образующейся в результате взаимодействия пленки никеля с арсенидом галлия.

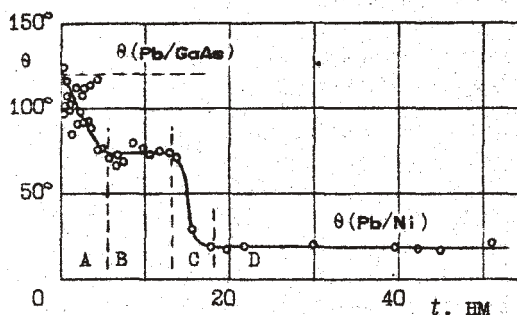


Рис. Зависимость краевого угла смачивания от толщины пленки никеля в системе Pb/Ni/GaAs.

Таким образом, зависимость $\theta(t)$ для системы Pb/Ni/GaAs можно разбить на четыре области, в которых реализуются различные состояния смачиваемой поверхности: 0 – 6 нм (А), 6 – 14 нм (В), 14 – 18 нм (С) и $t > 18$ нм (D) (рис.). При малых t конденсация на поверхности GaAs никеля приводит к образованию островков новой фазы, т.е. подложка становится гетерогенной. В области А степень заполнения подложки этим соединением возрастает с увеличением количества конденсированного никеля, что приводит к плавному уменьшению краевого угла до значения $\theta \approx 75^\circ$. Далее пленка соединения становится сплошной и изменение смачивания прекращается (область В). С некоторой толщины $t < 14$ нм на подложке остается слой непрореагировавшего никеля, который до $t \approx 14$ нм растворяется в свинце полностью, а при $t > 14$ нм часть его сохраняется на подложке, что приводит к гетерогенности смачиваемой поверхности и, следовательно, к появлению переходной области С. При $t > 18$ нм (область D) пленка никеля становится сплошной, а краевой угол смачивания постоянным: $\theta \approx 20^\circ$.

Электронографические исследования двухслойных пленок Ni/GaAs показали, что в зависимости от соотношения толщин слоев в системе наблюдается образование ряда фаз: NiAs, γ -Ni₃Ga₂, α -NiAs₂, Ni₅As₂, Ni₂Ga, известных из диаграмм равновесия двойных систем Ni – Ga и Ni – As. Важно отметить, что при температуре 670 К рефлексы от никеля появляются при толщинах никелевой пленки $t \geq 12$ нм, что подтверждает изложенные выше представления об изменении смачивания в системе Pb/Ni/GaAs. В то же время однозначная интерпретация результатов электронографических исследований затруднена, поскольку системы Ni – Ga и Ni – As характеризуются большим числом фаз, значительная часть из которых при различии в их симметрии имеют весьма близкие

межплоскостные расстояния. Для выяснения механизма формирования переходного слоя на границе $\text{Ni} - \text{GaAs}$ были также выполнены исследования микроструктуры и фазового состава двухслойных пленок, конденсированных (или отожженных) при различных температурах. Соотношение компонентов в пленках $\text{Ni} : \text{Ga} : \text{As}$ составляло $1 : 1 : 1$ (по 33.3 ат.%). Было установлено, что в исследованном диапазоне $350 < T < 720$ К могут быть выделены четыре температурных интервала, существенно различающихся как по электронной дифракции, так и по микроструктуре. При $T < 370$ К на электронограммах наблюдаются рефлексы, соответствующие только исходным веществам, т.е. при низких температурах аморфная пленка GaAs не взаимодействует с поликристаллическим слоем никеля. При повышении температуры линии никеля исчезают, и во втором температурном интервале ($370 < T < 470$ К) образуется аморфная фаза, характеризующаяся сильным гало, соответствующим наиболее интенсивным линиям никеля и ряда соединений (NiAs , $\gamma\text{-Ni}_3\text{Ga}_2$, NiGa_4 , Ni_5As_2). С повышением температуры до 480 - 500 К (для пленок подвергавшихся часовому отжигу при 450 К) происходит кристаллизация аморфной фазы, и примерно до 570 К картина электронной дифракции качественно не изменяется. При этом межплоскостные расстояния некоторых линий остаются постоянными, а у ряда линий существенно изменяются. Расшифровка электронограмм показывает, что все наблюдающиеся рефлексы принадлежат гексагональной решетке типа NiAs с изменяющимся параметром a . Параметр c остается практически постоянным, а отношение c/a возрастает от 1.31 до 1.39 (табличные значения c/a для фаз $\gamma\text{-Ni}_3\text{Ga}_2$ и NiAs обладающих решетками типа NiAs , составляют 1.245 и 1.39, соответственно). Таким образом, обнаруженная фаза типа NiAs является трехкомпонентной фазой с примерно равным содержанием никеля и мышьяка (~ 20 ат%), в которой по мере увеличения температуры уменьшается доля галлия за счет выделения фазы $\gamma\text{-Ni}_3\text{Ga}_2$. С повышением температуры практически одновременно с появлением фазы $\gamma\text{-Ni}_3\text{Ga}_2$ происходит кристаллизация непрореагировавшего арсенида галлия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Размерные эффекты при смачивании в ультрадисперсных системах / С.П.Чижик, Н.Т.Гладких, В.И.Ларин, Л.К.Григорьева, С.В.Дукаров, С.В.Степанова // Поверхность. - 1985. - № 12. - С. 111 - 121.