

06.2;06.3;12

©1993

СВОЙСТВА И ХАРАКТЕР ДИФФУЗИИ ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ ПЛЕНКИ CoSi_2 , ВЫРАЩЕННОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ФЛЮОРИТА

Б.Э.Эгамбердиев, А.А.Алтузов, Ш.М.Абидов

Возможность применения монокристаллических фторидов щелочно-земельных металлов в качестве подложек для эпитаксиального роста ряда соединений в последнее время привлекает внимание исследователей. Это объясняется, среди прочего, параметрами их кристаллической структуры, позволяющими осуществлять на данных соединениях эпитаксию основных полупроводников материалов: кремния, германия, арсенида-галия. Кроме того, будучи диэлектриками они могут быть изолирующими подложками при использовании полупроводниковой технологии. Наконец, благодаря оптическим и люминесцентным свойствам в сочетании с перечисленными достоинствами эти материалы могут применяться в оптоэлектронике.

Известны успешные попытки эпитаксиального роста на подложках BaF_2 и CaF_2 . На подложках фторида бария была проведена эпитаксия соединений типа A_4B_6 [1]. В работе [2] впервые описан эпитаксиальный рост кремния и дисилицида кобальта на поверхности CaF_2 (100). Следует отметить, что дисилицид кобальта CoSi_2 , обладает кубической решеткой флюорита с постоянной решетки, близкой к кремнию и фториду кальция. При этом он обладает металлическими свойствами. Таким образом, кремний, CaF_2 и CoSi_2 представляют собой уникальный набор "полупроводник-диэлектрик-металл" с близкими структурными параметрами, позволяющими осуществить их эпитаксиальный рост друг на друге.

В данной работе приводятся результаты анализа эпитаксиальной пленки $\text{CoSi}_2/\text{Si}/\text{CaF}_2$ (100), выращенной методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Полученные данные позволяют делать выводы о морфологии пленки и характере диффузии в слое CoSi_2 .

Пленка CoSi_2 на CaF_2 (100) выращивалась методом молекулярно-лучевой эпитаксии в сверхвакуумной установке с базовым вакуумом 10^{-8} Па. Молекулярные потоки кобальта и кремния формировались с помощью электронно-

лучевых испарителей. На поверхности подложки CaF_2 после термической очистки путем прогрева в вакууме в течение 30 мин. при 300°C осаждался тонкий буферный слой кремния толщиной 50 \AA . Осаждение производилось на подложку при комнатной температуре, далее температура повышалась до 700°C . При этом происходила твердофазная эпитаксия, в результате которой на поверхности флюорита формировалась пленка монокристаллического кремния. Данный слой служил буфером при последующей эпитаксии дисилицида кобальта.

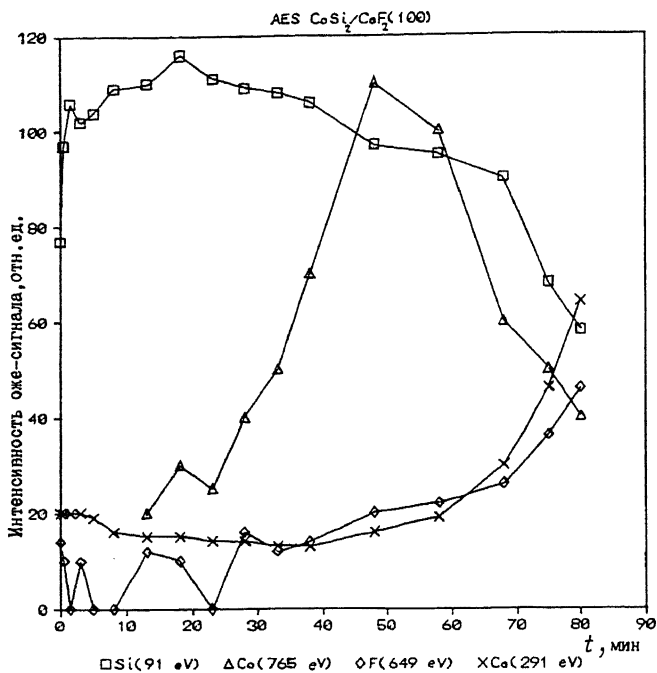
Эпитаксия CoSi осуществлялась путем одновременного осаждения кремния и кобальта из двух источников с соотношением потоков 2:1. Температура подложки при эпитаксии составляла 650°C . Дифракция быстрых электронов на отражение свидетельствовала о эпитаксиальном росте слоя силицида, а на подложке с буферным слоем. Толщина эпитаксиальной пленки CoSi была 300 \AA .

Эпитаксиальную пленку $\text{CoSi}_2/\text{Si}/\text{CaF}_2$ (100) исследовали методом Оже-электронной спектроскопии. Оже-профиль образца приведен на рисунке.

В приповерхностной области не наблюдается атомов кобальта, в то время как сигнал от кремния имеет высокую интенсивность. Начиная с некоторой глубины появляется сигнал от кобальта, интенсивность которого резко возрастает с глубиной. При приближении к подложке синхронно уменьшается интенсивность сигналов кремния и кобальта при одновременном увеличении Оже-сигналов кальция и фтора.

Таким образом, на поверхности пленки имеется слой кремния, в то время как собственно силицид кобальта присутствует, начиная с некоторой глубины. Следует отметить, что данный эффект не может объясняться условиями роста пленки, так как пленка формировалась путем одновременного осаждения кобальта и кремния, причем молекулярные потоки поддерживались постоянными в процессе роста. В то же время присутствие чистого кремния на поверхности пленок CoSi_2 и CaF_2 , сформированных на кремниевых подложках, наблюдалось ранее [3,4]. В настоящее время нет полного понимания причин появления данного эффекта. С точки зрения термодинамики поверхности, наблюдаемое явление можно объяснить тем, что свободная энергия поверхности кремния меньше энергии дисилицидов никеля и кобальта. Таким образом, процесс формирования на поверхности пленки силицидов слоя кремния может быть энергетически выгоден, так как уменьшает свободную энергию системы.

Однако термодинамический анализ не дает информации о механизме образования поверхностного слоя кремния. Ав-



торы [3] считают что для NiSi_2/Si имеет место диффузия атомов никеля от поверхности к границе раздела, что должно приводить к образованию на поверхности слоя, обедненного никелем. В [4] допускается возможность диффузии атомов кремния через слой силицида к поверхности пленки.

В данной работе впервые описывается аналогичный эффект, наблюдаемый в пленке $\text{CoSi}_2/\text{Si}/\text{CaF}_2(100)$. Предполагается, что слой чистого кремния наблюдаемый в нашем случае на поверхности образца не может быть вызван диффузией атомов кремния из глубины, так как невозможно поступление кремния из подложки. Таким образом, очевидно, что слой кремния на поверхности дисилицидов кобальта и никеля образуется за счет диффузии атомов металла от поверхности к границе раздела пленка-подложка.

Спектры ОЭС пленки $\text{CoSi}_2/\text{Si}/\text{CaF}_2(100)$ демонстрируют также наличие сигналов Ca и F₂ на поверхности образца. Данный эффект объясняется, по-видимому, тем, что рост пленки CoSi_2 на подложке CaF_2 происходит по островковому механизму из-за большей свободной энергии поверхности $\text{CoSi}_2(100)$ по сравнению с $\text{CaF}_2(100)/\gamma\text{CoSi}_2(100) = 4130 \text{ эрг} \cdot \text{см}^2$, $\gamma\text{CaF}_2(100) = 530 \text{ эрг} \cdot \text{см}^2$. Вследствие

этого Оже-анализом выявлено наличие атомов Ca и F на поверхности. По отношению амплитуд Оже-сигналов этих атомов на поверхности образца и вблизи границы раздела $\text{CoSi}_2/\text{CaF}_2$ можно судить о морфологии поверхности, в частности, определить степень покрытия подложки пленкой CoSi_2 :

$$\theta = (1 - S_{\text{CaF}_2}/S_n) = (1 - I_s/I_i); \quad (1)$$

S_{CaF_2} — суммарная площадь подложки CaF_2 , захватываемая электронным пучком; S_n — площадь электронного пучка; I_s — интенсивность Оже-сигнала Ca на поверхности образца, отн. ед; I_i — интенсивность Оже-сигнала Ca вблизи границы раздела $\text{CoSi}_2/\text{CaF}_2$.

При расчетах следует пользоваться значениями интенсивности Оже-сигнала для кальция, а не фтора, так как (см. рис.) интенсивность сигнала фтора является весьма нерегулярной величиной в приповерхностной области. Можно предположить, что здесь имеет место электронно-стимулированная десорбция под воздействием электронного пучка Оже-анализатора.

Измерение интенсивности сигнала кальция на границе раздела пленка-подложка затруднялось зарядкой образца. Поэтому для вычислений использовалось значение интенсивности сигнала не на самой границе раздела, а вблизи ее. Отношение I_s/I_i при этом было 0.3. Таким образом, в нашем случае степень покрытия $\theta = 70\%$.

Методом Оже-электронной спектроскопии исследована пленка $\text{CoSi}_2/\text{Si}/\text{CaF}_2$ (100). Изучена зависимость состава пленки от глубины и морфологии пленки силицида кобальта.

Установлен островковый характер пленки CoSi_2 на флюорите. Степень покрытия подложки пленкой оценена в 70%.

Выявлено наличие эпитаксиальной пленки в приповерхностной области слоя, обогащенного кремнием. Вероятно это формируется вследствие диффузии атомов кобальта от поверхности к границе раздела "силицид-флюорит", снижающей свободную энергию поверхности пленки.

Список литературы

- [1] Васин О.И., Климов А.Э. и др. // Поверхность. 1988. № 12. С. 55.
- [2] Алтухов А.А., Журнов В.В. и др. Тез. докл. VII симп. по вторичной электронной, фотоэлектронной эмиссиям и спектроскопии поверхности твердого тела. Ташкент, 1990.
- [3] d'Heurle F.M., Thomas O. // Phys. Let. 1988. V. 52. N 26. P. 2269.
- [4] Hinkel V., Sorba L. et al. // Appl. Phys. Let. 1987. V. 50. P. 1257.

Поступило в Редакцию
6 июля 1993 г.