

11;12
©1993 г.

РОСТ СВЕРХТОНКИХ ПЛЕНОК Al НА ПОВЕРХНОСТИ Si(110)

*А.В.Зотов, Е.А.Храмцова, В.Г.Лифшиц, А.Т.Харченко,
С.В.Рыжков, А.Н.Демидчик*

Взаимодействие алюминия с кремнием представляет большой научный и технологический интерес, так как алюминий широко применяется для формирования контактов в технологии кремниевых приборов. В последнее время внимание исследователей привлекают начальные стадии формирования границы раздела системы металл-кремний. Подробно изучены субмонослойные поверхностные фазы в системе Al/Si(111) [1-11]. Исследованию систем Al/Si(100) и Al/Si(110) посвящено значительно меньше работ [12-15]. При этом можно заметить, что физические процессы на грани (110) кремния привлекают в последнее время растущее внимание исследователей. Только в 1992 году был опубликован целый ряд статей [14-19], посвященных изучению структуры чистой грани Si(110) и поверхностных фаз в субмонослойных системах "адсорбат/Si(110)".

В настоящей работе исследовано формирование поверхностных фаз в системе Al/Si(110).

Эксперименты по исследованию формирования границы раздела системы Al/Si(110) проводили в сверхвысоковакуумной камере с базовым давлением $2 \cdot 10^{-10}$ Тор. Для анализа кристаллической структуры и химического состава поверхности образцов применяли методы дифракции медленных электронов (ДМЭ) и электронной оже-спектроскопии (ЭОС). В качестве образцов использовали прямоугольные пластины Si с ориентацией (110), легированные алюминием ($\rho = 0.06$ Ом·см). Перед помещением в камеру пластины Si тщательно очищали в органических растворителях. Окончательная очистка заключалась в прогреве образцов при 1200° C в течении 3 мин в вакууме. В результате от образца наблюдалась картина ДМЭ "16x2" [20,21] со слабыми рефлексами, соответствующими структуре (1x5) [22], а оже-анализ показывал отсутствие загрязнений на поверхности.

В качестве источника Al использовали вольфрамовую проволоку с наплавленным на нее химически чистым Al. Скорость напыления алюминия составляла $(0.5-5) \cdot 10^{14}$ см⁻² · мин⁻¹, вакуум при напылении был не хуже $8 \cdot 10^{-10}$ Тор. Покрытие Al определяли из отношения амплитуд LVV оже-пика Si (68 эв) и LVV оже-пика Al (92 эв) в рамках модели тонкого гомогенного слоя алюминия на подложке кремния [23].

На рис. 1 представлена фазовая диаграмма системы Al-Si(110), построенная на основе данных ДМЭ и ЭОС.

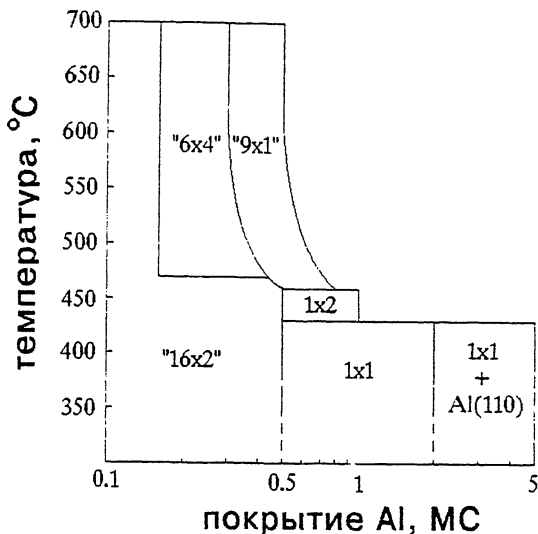


Рис. 1. Фазовая диаграмма системы Al/Si(110).

При осаждении Al на нагретую до 600–700° С подложку Si(110) с увеличением покрытия Al последовательно наблюдаются две поверхностные фазы Si(110) “6×4”-Al и Si(110) “9×1”-Al. Структура “6×4” существует при покрытии Al от 0.16 до 0.30 монослоя. За 1 монослой (МС) принималась поверхностная концентрация атомов в верхнем слое монокристаллического Si ($9.59 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ для Si(110)). В записи структуры “6×4” кавычки означают, что элементарные вектора трансляции этой структуры не параллельны элементарным векторам трансляции двумерной решетки грани Si(110): $\mathbf{a} = (1/2)[110]$ и $\mathbf{b} = [001]$. Точная запись этой структуры может быть представлена в матричной форме $\begin{pmatrix} 3 & 0 \\ -1 & 4 \end{pmatrix}$. На рис. 2,а показаны картина ДМЭ и схема дифракционной картины двухдоменной фазы “6×4”.

При покрытии свыше 0.3 МС поверхностная фаза “6×4” переходит в двухдоменную фазу “9×1” (ее запись в матричной форме $\begin{pmatrix} 9 & 0 \\ -2 & 1 \end{pmatrix}$). На рис. 2,б представлены картина ДМЭ и ее схематическое изображение двухдоменной фазы “9×1”. Окончательное формирование этой фазы происходит при покрытии около 0.5 МС. Дальнейшее осаждение Al не приводит к изменению величины покрытия. Это означает, что коэффициент прилипания Al в данном температурном диапазоне резко уменьшается при покрытии свыше 0.5 МС. Такой же эффект наблюдали и при напылении Al на Si(100) [12].

При температурах подложки от 500 до 600° С при увеличении покрытия Al также последовательно формируются две поверхностные фазы “6×4” и “9×1”. Однако величина покрытия Al, при котором наблюдается переход от фазы “6×4” к фазе “9×1” и величина покрытия насыщения с уменьшением температуры сдвигаются в сторону более высоких значений. Дифракционные рефлекссы от фаз “6×4” и “9×1” с уменьшением температуры становятся посте-

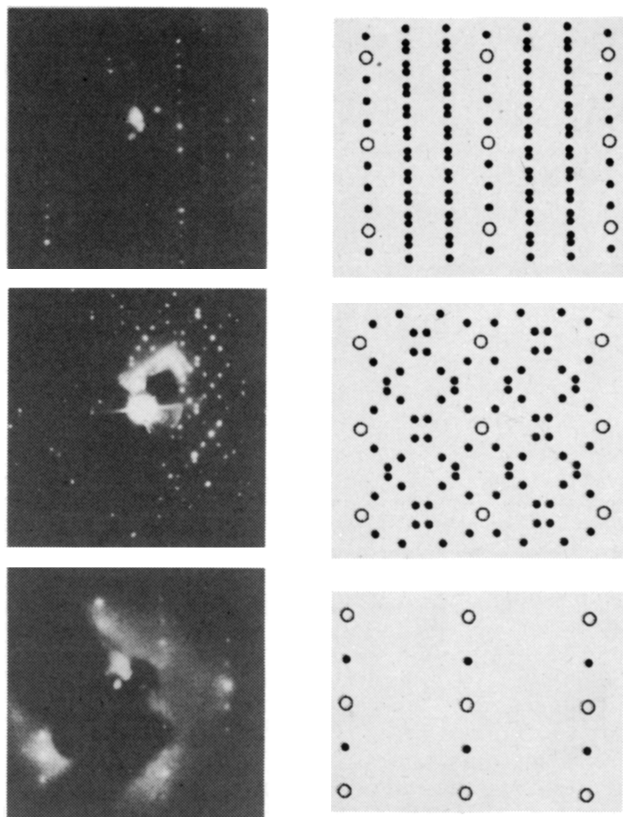


Рис. 2. Картины ДМЭ и их схематическое изображение для (а) двухдоменной структуры “6×4”, (б) двухдоменной структуры “9×1”, (в) структуры (1×2). Белыми кружками обозначены основные рефлексы, черными — суперрефлексы.

пенно более диффузными и при температуре около 450° С исчезают совсем.

При температуре подложки около 450° С и покрытия Al от 0.5 до 1.0 МС формируется новая поверхностная структура Si(110)1×2–Al. На рис. 2, в показаны картина ДМЭ и схема дифракционной картины этой фазы. Эксперименты показали, что структура (1×2) наблюдается в узком температурном диапазоне от 430 до 460° С.

Осаждение Al на подложку с температурой ниже 430° С приводит к формированию структуры Si(110)(1×1)-Al при покрытиях Al выше 0.5 МС. При таких температурах покрытие Al не выходит на насыщение, и осаждение Al на фазу (1×1) приводит к тому, что в дифракционной картине появляются рефлексы, соответствующие эпитаксиальному Al(110). Эксперименты показали, что эпитаксиальный Al(110) может быть выращен также на поверхностной фазе “9×1”. Для этого сначала формировали поверхностную фазу “9×1” при температуре подложки 650° С, а затем, уменьшив тем-

пературу до 400° С, продолжали напыление Al до появления на картине ДМЭ рефлексов Al(110)1×1.

При осаждении Al на подложку при комнатной температуре, одновременно с увеличением интенсивности фона постепенно гаснут все дифракционные рефлексы, из чего можно сделать вывод, что на поверхности формируется неупорядоченная пленка.

Отжиг Al, осажденного на поверхность Si(110) при комнатной температуре, приводит к образованию фаз, описанных выше. Формирование той или иной фазы зависит от покрытия Al и температуры отжига. Так, например, последовательный отжиг пленки Al толщиной несколько МС приводит к образованию фазы (1×1) при 400, (1×2) при 450 и "9×1" при 600° С. Дальнейший отжиг приводит к десорбции Al, и от поверхности последовательно наблюдаются картины ДМЭ "6×4" и "16×2".

Список литературы

- [1] Lander J.J., Morrison J. // Surf. Sci. 1964. V. 2. P. 553.
- [2] Huang H., Tong S.Y., Yang W.S., Shih H.D., Jona F. // Phys. Rev. B. 1990. V. 42. P. 7487.
- [3] Kinoshita T., Kono S., Sagawa T. // Phys. Rev. B. 1985. V. 32. P. 2714.
- [4] Kinoshita T., Kono S., Sagawa T. // Solid State Commun. 1985. V. 56. P. 681.
- [5] Hansson G.V., Bachrach R.Z., Bauer R.S., Chiaradia P. // Phys. Rev. Lett. 1981. V. 46. P. 1033.
- [6] Uhrberg R.I.G., Hansson G.V., Nicholls J.M., Persson P.E.S., Flodstrom S.A. // Phys. Rev. B. 1985. V. 31. P. 3805.
- [7] Nicholls J.M., Reihl B., Northrup J.E. // Phys. Rev. B. 1987. V. 35. P. 4137.
- [8] Hamers R.J. // Phys. Rev. B. 1989. V. 40. P. 1657.
- [9] Hamers R.J., Demuth J.E. // J. Vac. Sci. Technol. A. 1988. V. 6. P. 512.
- [10] Hamers R.J. // J. Vac. Sci. Technol. B. 1988. V. 6. P. 1462.
- [11] Kelly M.K., Margaritondo G., Anderson J., Frankel D.J., Lapeyre G.J. // J. Vac. Sci. Technol. A. 1986. V. 4. P. 1396.
- [12] Ide T., Nishimori T., Ichinokawa T. // Surf. Sci. 1989. V. 209. P. 335.
- [13] Nogami J., Baski A.A., Quate C.F. // Phys. Rev. B. 1991. V. 44. P. 1415.
- [14] Yamamoto Y. // Jap. J. Appl. Phys. 1992. V. 31. P. 153.
- [15] Zotov A.V., Khramtsova E.F., Lifshits V.G., Kharchenko A.T., Ryzhkov S.V., Demidchik A.N. // Surf. Sci. 1992. V. 277. P. L77.
- [16] Yamamoto Y. // Surf. Sci. 1992. V. 271. P. 407.
- [17] Yamamoto Y. // Jap. J. Appl. Phys. 1992. V. 31. P. 2544.
- [18] Michel E.G., Etelaniemi V., Materik G. // Appl. Surf. Sci. 1992. V. 56/58. P. 457.
- [19] Zotov A.V., Lifshits V.G., Demidchik A.N. // Surf. Sci. 1992. V. 274. P. L583.
- [20] Ichinokawa T., Ampo H., Miura S., Tamura A. // Phys. Rev. B. 1985. V. 31. P. 5183.
- [21] Yamamoto Y., Ino S., Ichikawa T. // Jap. J. Appl. Phys. 1986. V. 25. P. L331.
- [22] Olshanetsky B.Z., Shkiyaev A.A. // Surf. Sci. 1977. V. 67. P. 581.
- [23] Бриггс Д., Сух М.П. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Москва: Мир, 1987. С. 236.

Институт автоматизации и процессов управления
с вычислительным центром ДВНЦ РАН
Владивосток

Поступило в Редакцию
24 марта 1993 г.