

ПРОЦЕССЫ АТОМНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И РАСПЫЛЕНИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ СТРУКТУР Al-Cu ИОНАМИ Ar^+ , Kr^+ , He^+

В.В.Тульев, И.С.Ташлыков

Белорусский государственный технологический университет

220630 Беларусь, г.Минск, ул.Свердлова 13а, тел.(017)2271091, факс.(017)2276217, 2261075

Изучено воздействие ускоренных ионов Ar^+ , Kr^+ , He^+ на процессы перемешивания и распыления компонентов в структурах Al-Cu. Слоистые структуры Al-Cu были получены методом термического напыления в вакууме меди на алюминий. Послойный анализ облученных структур выполнялся методом резерфордовского обратного рассеяния ионов гелия с применением компьютерного моделирования.

I. Введение

При формировании структуры подложка-пленка облучают ускоренными ионами, изучая, как правило, взаимопроникновение атомов в области межфазной границы. Перемешивание ионным пучком может заменить ионную имплантацию высоких доз в области коррозии, износостойкости и усталостной устойчивости. Существует два альтернативных метода. Первый заключается в осаждении слоя материала на подложку, с последующим перемешиванием атомов бомбардировкой ионов [1-3]. Второй - в ионно-ассистированном нанесении пленки, где в качестве ионов, перемешивающих осаждаемое покрытие, используются ионы инертных газов [4,5] или ионы материала покрытия [6]. Интерес представляет вопрос о взаимопроникновении компонентов покрытий на границе раздела подложка-пленка при облучении ускоренными ионами формируемых структур, а также эффективность атомного перемешивания в условиях, когда в каскадах столкновений выделяется разная плотность энергии. При ионном облучении формируемых структур наряду с эффектами перемешивания атомов, структурно-фазовых перестроек, также чувствительных к плотности выделенной энергии [7], происходит дополнительно распыление поверхности мишени, что накладывает ограничения на практическое применение атомного перемешивания.

II. Основная часть

В работе изучалось перемешивание между атомами Al и Cu на границе раздела алюминия с нанесенным на него покрытием меди при облучении подготовленных структур ионами Ar^+ , Kr^+ , He^+ . Для нанесения на алюминий пленки меди толщиной (10 ± 1) нм использовали метод электронно-лучевого разогрева и испарения материала в вакууме 2×10^{-6} мм.рт.ст. Подготовленные структуры Al-Cu облучали ионами Ar^+ с энергией 20 кэВ, ионами Kr^+ и He^+ с энергией 30 кэВ и интегральными потоками (D) от 2.0×10^{15} см $^{-2}$ до 3.0×10^{16} см $^{-2}$. Плотность ионного тока составляла ~ 2 мкА/см 2 (Kr^+ , He^+) и ~ 5 мкА/см 2 (Ar^+). Энергии ионов аргона, криптона, ксенона выбирались таким образом, чтобы максимум выделенной энергии приходился на границу раздела пленка-подложка.

Композиционный состав на границе подложка-пленка исходных и облученных ионами Ar^+ ,

Kr^+ , He^+ структур Al-Cu с его профилированием по глубине исследовали методом резерфордовского

обратного рассеяния (РОР) ионов гелия с энергией 4 МэВ. Спектры РОР снимались в условиях минимизации элементного анализа ($\theta = 165^\circ$, $\theta_2 = 15^\circ$).

Экспериментальные спектры РОР структур Al-Cu, облученных ионами He, показаны на рис.1. После облучения структур Al-Cu ионами ксенона потоками от 2.0×10^{15} см $^{-2}$ до 1.5×10^{16} см $^{-2}$ происходит уменьшение интегрального сигнала РОР от меди и сигнал от алюминия сдвигается в сторону больших номеров каналов. Оба эффекта отражают процесс распыления поверхности облучаемой структуры. Эффективность распыления можно оценить коэффициентом распыления S, который показывает среднее количество атомов эмитированных с поверхности при падении на нее одного иона. На спектрах РОР структур Al-Cu, облученных ионами ксенона, также наблюдается смещение сигнала от алюминия матрицы и уменьшение выхода обратного рассеяния от атомов пленки.

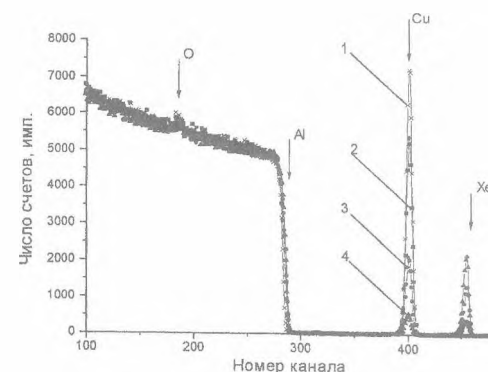


Рис.1. Спектры обратного рассеяния ионов гелия системы Al-Cu до (1) и после (2-4) облучения ионами ксенона с энергией 30 кэВ интегральными потоками: 2 - 2.0×10^{15} см $^{-2}$; 3 - 6.0×10^{15} см $^{-2}$; 4 - 1.5×10^{16} см $^{-2}$.

Коэффициенты распыления меди, рассчитанные при анализе спектров РОР ионов гелия ($S^{рас}$), приведены на рис.2. Эти данные теоретически рассчитаны с помощью коэффициентов распыления [10] для меди и алюминия при облучении ионами ксенона. Следует отметить, что для меди распыление

ретических и экспериментальных коэффициентов распыления. Мы полагаем, что из-за достаточно малой толщины слоя меди на поверхности при ионном облучении Al-Cu структур происходит практически одновременно распыление алюминиевой матрицы и легких примесей, что, по-видимому, и является причиной уменьшения экспериментально измеренных значений S по сравнению с теоретическими. Этот эффект отчетливо проявляется, когда увеличивается длительность облучения, то есть увеличивается интегральный поток ионов.

Таблица

Количественные характеристики состава структур, полученные до и после облучения структурами Al-Cu ионами Ar^+ , Kr^+ , He^+ , коэффициенты распыления и плотность выделенной энергии при торможении ионов в Al и Cu.

Структура	Al-Cu	(Al-Cu)+ Ar^+				(Al-Cu)+ Kr^+				(Al-Cu)+ He^+			
№ образца		1	2	3	4	1	2	3		1	2	3	
$D, 10^{15} \text{ см}^{-2}$	-	3.0	6.0	15.	30.	2.0	6.0	15.		2.0	6.0	15.	
$(Ni)_{Cu}, 10^{16} \text{ см}^{-2}$	9.5	8.5	6.5	4.0	1.9	7.9	4.6	1.7		7.4	3.1	0.8	
$(Ni)_0, 10^{16} \text{ см}^{-2}$	-	2.4	4.7	11.	20.	1.6	5.2	11.		1.5	5.0	8.1	
$(Ni)_0, 10^{16} \text{ см}^{-2}$	7.1	5.9	7.7	5.7	3.3	6.3	8.5	4.2		3.8	8.1	2.8	
$(Ni)_0/(Ni)_{Cu}$	0.75	0.7	1.2	1.4	1.7	0.8	1.8	2.5		0.5	2.6	3.5	
$S_{Cu}^{рас} \cdot \frac{\text{атом}}{\text{ион}}$	-	3.3	5.0	3.7	2.5	8.0	8.2	5.2		10.	10.	5.8	
$S_{Cu}^{теор} \cdot \frac{\text{атом}}{\text{ион}}$	-	7.0				10.4				10.8			
$S_{Al}^{теор} \cdot \frac{\text{атом}}{\text{ион}}$	-	3.5				6.2				7.0			
$\Theta_{Cu} \cdot \frac{\text{эВ}}{\text{атом}}$	-	0.2				2.9				3.8			
$\Theta_{Al} \cdot \frac{\text{эВ}}{\text{атом}}$	-	0.03				0.2				0.51			

Используя компьютерное моделирование, были построены концентрационные профили композиционного структур Al-Cu после облучения (рис.2-4). При облучении ионами Kr (рис.2) наблюдается наиболее глубокое проникновение атомов Cu в алюминиевую матрицу при наименьшем потоке $2.0 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Подобный характер в распределении меди наблюдается и при облучении структур Al-Cu ионами He.

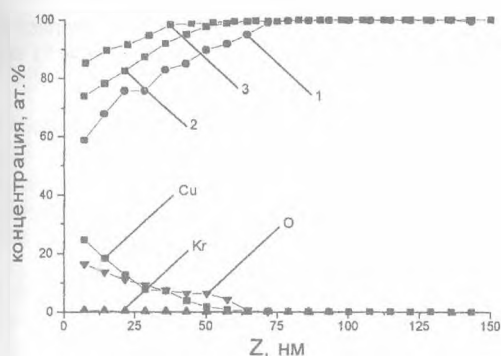


Рис.2. Профили распределения алюминия по глубине в структурах Al-Cu после облучения ионами криптона с энергией 30 кэВ и интегральными потоками $2.0 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$, $6.0 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$, $15.0 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

В случае имплантации ионов Ag наибольшее проникновение атомов пленки меди в алюминиевую матрицу наблюдается при интегральном потоке ионов $1.5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

На рис.3 представлены концентрационные профили элементов в структурах Al-Cu, облученных ионами Ag, Kr, He интегральными потоками $\sim 6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

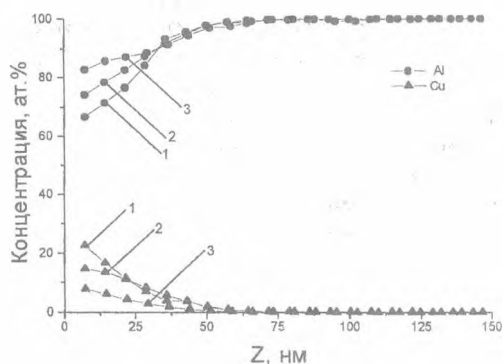


Рис.3. Профили распределения алюминия и меди по глубине в структурах Al-Cu после облучения ионами аргона - 1, криптона - 2, ксенона - 3 при интегральном потоке $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

Анализируя полученные зависимости, следует отметить, что наиболее глубокое проникновение меди в алюминиевую матрицу достигается в случае облучения ионами Ag и Kr, однако при облучении ионами Ag содержание Cu в алюминии выше, чем после облучения ионами криптона. При облучении структур Al-Cu потоками ионов $\sim 1.5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ наиболее глубокое проникновение атомов меди в матрицу наблюдается также для ионов Ag, но когда D составляет $\sim 2.3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ наибольшая глубина распространения Cu в алюминиевую матрицу достигается при облучении ионами Kr.

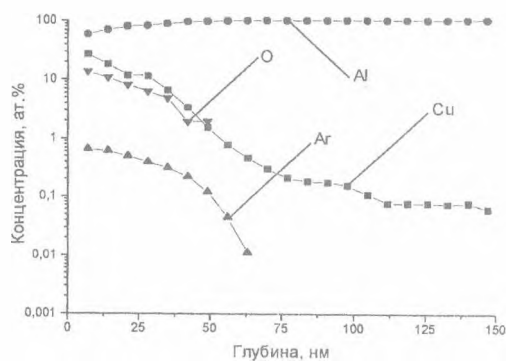


Рис.4. Профили распределения компонентов по глубине в структуре Al-Cu после облучения ионами криптона с энергией 20 кэВ при интегральном потоке $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

ствуется активации миграционных процессов, т.е. диффузии атомов Cu вглубь, сопровождается увеличением коэффициента распыления. Поэтому при возрастании интегральных потоков ионов, особенно тяжелых Kr и Xe, эффект распыления преобладает, см. таблицу.

При атомном перемешивании структур Cu-Al ионами аргона, криптона, ксенона наблюдается появление в структурах достаточно высоких концентраций кислорода в анализируемых слоях (таблица). Причем, несмотря на явное распыление поверхности, относительная концентрация кислорода $(Nt)_O/(Nt)_{Cu}$ в облученных образцах растет по величине от 0.5-0.7 до 1.7-3.5 по мере увеличения интегрального потока всех использованных ионов (таблица). Вместе с тем установлено, что глубина проникновения меди в алюминиевую матрицу превышает в 2-3 раза глубину проникновения детектируемого количества кислорода (рис.4). Обнаруженный эффект, по-видимому, можно связать с влиянием типа химической связи: ионной у кислорода и металлической у меди на диффузию атомов O и Cu в алюминии.

III. Заключение

Таким образом при облучении структур Al-Cu ионами Ar с энергией 20 кэВ, Kr, Xe с энергиями 30 кэВ и интегральными потоками $2.0 \cdot 10^{15}$ - $3.0 \cdot 10^{16}$ см⁻² происходит интенсивное распыление материала пленки в сочетании с процессами перемешивания атомов пленки и подложки. При перемешивании систем Al-Cu оптимальным представляется режим с использованием ионов Ar и интегральных потоков $\sim 1.5 \cdot 10^{16}$ см⁻², так как при

этих потоках обеспечивается достаточно глубокое проникновение атомов меди в алюминиевую матрицу, и сравнительно малое распыление материала пленки.

При перемешивании структур Al-Cu ускоренными ионами Ar, Kr, Xe происходит 2-3 кратное возрастание относительной концентрации кислорода. При этом в соответствии с концентрационными профилями глубина его проникновения меньше, чем у меди. Различная глубина распространения атомов O и Cu в алюминии, по-видимому, обусловлена влиянием типа химической связи атомов кислорода и меди на эффективность ионно-индуцированных процессов диффузии при атомном перемешивании.

Список литературы

1. Battaglin G., Bertocello R., Granozzi, Fagherazzi G., Lorusso S., Mengucci P. // Mater. Sci. and Eng. A. -1989. - V.115. -P.165.
2. Battaglin G., Lorusso S. // J. Less-Common Metals. - 1988. -V.145. -№ 1-2. -P.513.
3. Demaree J.D., Was G.S., Sorensen N.R. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. -1991. - V.59/60. -P.757.
4. Wolf G.K. // Surface and Coatings Technology. -1990. - V.43/44. -P.920.
5. Вольф Г., Ташлыков И.С., Эндерс Б. // Тез.докл. XXII совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. -М.: Изд-во МГУ, -1992. -С.98.
6. Тульев В.В., Куликаускас В.С., Ташлыков И.С. // Поверхность. Физика, химия, механика. -1995. -№ 9. -С.45.
7. Jaouena C. // Solid State Phenomena. -1992. -V.23/24. -P.123.
8. Matsunami Noriaki et.al. // TPPJ-AM. -1984. -V.9E. -P.1.

ION BEAM MIXING AND SPUTTERING OF Al-Cu STRUCTURE BY ACCELERATED Ar⁺, Kr⁺, Xe⁺ IONS

V.V.Tuljev, I.S.Tashlykov

Belorussian State Technological University, 13-a Sverdlova str., 220630 Minsk, Belarus,
tel. 2271091, fax: 2276217

The influence of the accelerated Ar, Kr and Xe ions on the efficiency of ion beam mixing processes across Al-Cu interface and sputtering of the top copper layer was studied. The mixing profiles and layer concentrations of elements were obtained by using the RBS technique and computer simulation programmes.



This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.

To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm