

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В СПЛАВЕ АЛЮМИНИЯ ПРИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Г.А.Гусаков¹⁾, С.И.Жукова²⁾, Н.В.Ухов¹⁾

¹⁾НИИ прикладных физических проблем им.А.Н.Севченко, 220064, г.Минск, ул.Курчатова,7

²⁾Белгосуниверситет, 220050. Г.Минск, пр.Ф.Скорины, 4, т.е. 226-57-00,

e-mail: zhukova@phys.bsu.unibel.by

Методом Оже-электронной спектроскопии исследовано распределение основных легирующих сплав алюминия Д16 примесей при имплантации ионов сурьмы ($E=100$ кэВ) и бора ($E=20$ кэВ). Обнаружено увеличение концентрации атомов меди и магния в имплантированных ионами сурьмы слоях сплава. Имплантация ионов бора не приводит к перераспределению примесей.

Введение

Вопрос о влиянии ионной имплантации на механические свойства дисперсионно твердеющих сплавов, являющихся сложными многокомпонентным многофазными системами, представляет научный интерес в связи с многообразием возможных радиационно-индуцированных процессов, приводящих к изменению их структурно-фазового состояния.

Изменение прочностных свойств, трибологических, усталостной долговечности и пр. следует рассматривать как вторичные эффекты ионной имплантации, включающие такие процессы как миграция примесей, образование преципитатов, растворение имеющихся в сплаве включений вторых фаз, изменение окислительных характеристик поверхности. Конечный результат определяется преобладающим эффектом ионной имплантации, который зависит от типа ионов, их энергии, дозы имплантации и исходного структурно-фазового состояния сплава.

В настоящей работе исследовано влияние имплантации ионов сурьмы и бора на распределение легирующих примесей в дисперсионно твердеющем сплаве на основе алюминия Д16

I. Методика эксперимента

В качестве объекта исследования и использован естественно состаренный сплав Д16 содержащий 4,5% Cu, 1,6%Mg и менее 0,5% F Si. Структурно-фазовое состояние сплава соответствует наличию зон Гинье-Престона (ГП) твердом растворе.

Имплантация ионов сурьмы с $E=100$ кэВ до дозы $2,5 \cdot 10^{16}$ см⁻² и ионов бора с $E=20$ кэВ до дозы $1 \cdot 10^{17}$ см⁻² проводилась при плотности ионного тока, не превышающей 2 мкА/см².

Условия имплантации и параметры распределения имплантированных ионов приведены в таблице.

ион	E, кэВ	D, см ⁻²	D, сна	R _p , нм	ΔR _p , нм	R _{pe} , нм
Sb	100	$2,5 \cdot 10^{16}$	5,0	48,3	14,1	30,
B	20	$1 \cdot 10^{17}$	4,9	73,5	29,1	49,2

Распределение имплантированных ионов и основных легирующих примесей исследовано с помощью электронного Оже-спектрометра PHI-660 при распылении мишени пучком ионов аргона с энергией 3 кэВ.

II. Экспериментальные результаты и обсуждение

На рис.1 представлены концентрационные профили основных легирующих сплав Д16 примесей (медь и магний) и имплантированных ионов бора и сурьмы.

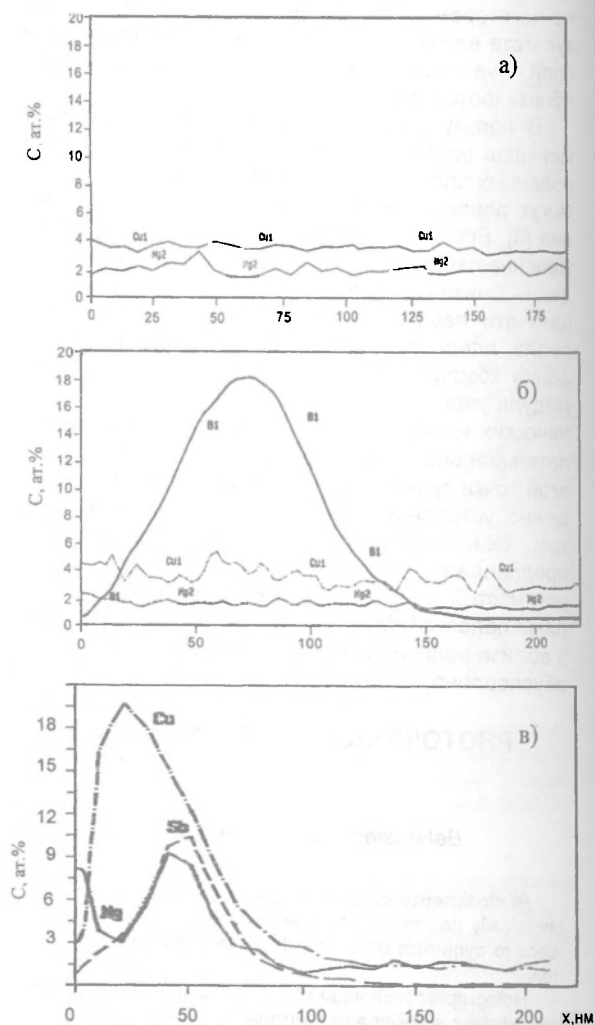


Рис.1. Распределение примесей по глубине в исходном сплаве Д16 (а), имплантированном ионами бора (б) и сурьмы (в)

В неимплантированном образце (рис.1а) распределение меди и магния равномерное по глубине, что соответствует исходному структурно-

фазовому состоянию сплава, который находится на стадии зонного старения с равномерным распределением зон ГП и достаточно малым расстоянием между ними.

Имплантиция ионов бора не приводит к заметному изменению в распределении легирующих сплав элементов (рис.1б). Концентрационный профиль ионов бора имеет форму гауссианы с максимумом распределения на глубине, соответствующей проективному пробегу R_p^D .

Профиль распределения ионов сурьмы (рис.1в) также соответствует расчетному с максимумом на глубине R_p^{Sb} . В имплантированном слое наблюдается сегрегация атомов меди и магния, причем максимум распределения меди расположен в области максимума концентрации дефектов (R_{pd}^{Sb}) и достигает ~ 20 ат.%. В распределении магния имеются два максимума – в области R_p^{Cu} и на поверхности. За имплантированным слоем наблюдается обеднение атомами Cu и Mg матрицы сплава. Слоевые концентрации ионов бора и сурьмы соответствуют дозам имплантации.

В предыдущих работах [1,2] нами показано, что имплантация как ионов сурьмы, так и ионов бора в естественно состаренный сплав Д16 приводит к его разупрочнению, причем эффект более значителен в случае имплантации ионов сурьмы. Разупрочнение имплантированных сплавов обусловлено растворением зон ГП и, соответственно, уменьшением полей упругих напряжений, которые определяют торможение дислокаций и упрочнение сплава при старении.

Характер распределения легирующих примесей (рис.1) свидетельствует о том, что при имплантации ионов бора освобожденные при растворении зон ГП атомы меди и магния переходят в твердый раствор, пересыщая его и оставаясь равномерно распределенными в объеме сплава. При имплантации ионов сурьмы в имплантированном слое стимулируются процессы старения – происходит зарождение Θ' и S' -фаз и их обособление, сопровождающееся потерей когерентности. В этом случае фазовый состав приповерхностного слоя соответствует стадии коагуляционного старения, приводящего к разупрочнению сплава. В работе [2] при электронномикроскопическом изучении структуры имплантированного ионами сурьмы исследуемого

сплава обнаружены выделения Θ и S -фаз ($CuAl_2$, $CuMgAl_2$), средний размер которых составляет 0,9 мкм. Преципитаты с размерами (1,2...3,0) мкм обнаружены и в [3] при имплантации ионов сурьмы с $E=200$ кэВ в технически чистый алюминий, содержащий примеси железа и меди. При этом механические свойства алюминия ухудшались.

Радиационно-индуцированное выделение вторых фаз происходит в условиях значительного пересыщения матрицы сплавов точечными дефектами. Проведенный с помощью программы TRIM анализ показал, что эффективность образования вакансий в алюминии ионами сурьмы с $E=100$ кэВ ~ в 20 раз выше, чем ионами бора с $E=20$ кэВ, и в имплантированных Sb^+ слоях образуется в пять раз большее количество вакансий при используемых дозах имплантации. Зародившиеся и растущие выделения становятся дополнительными стоками для точечных дефектов. Кроме того, высокая плотность каскадов смещений приводит к образованию развитой дислокационной сетки. Оба этих фактора способствуют усилению диффузионных процессов и обуславливают сегрегацию легирующих сплав примесей с последующим выделением вторых фаз в приповерхностном слое.

Заключение

При имплантации ионов сурьмы с $E=100$ кэВ в сплав Д16 на стадии зонного старения наблюдается радиационно-индуцированная сегрегация атомов меди и магния в имплантированном слое. Имплантация ионов бора с $E=20$ кэВ не приводит к перераспределению этих примесей. Наблюдаемые эффекты связаны с радиационно-индуцированным растворением зон ГП, что приводит к пересыщению освобожденными атомами примесей матричного твердого раствора в случае имплантации ионов бора. При имплантации ионов сурьмы радиационно-стимулированные диффузионные процессы обуславливают сегрегацию примесей в приповерхностном слое.

Список литературы

1. Анищик В.М., Жукова С.И. // Материалы конференции «Физика плазмы и плазменных технологий ФППТ-2». – Минск. – 1997. – С.594.
2. Анищик В.М., Жукова С.И. и др. // Структурные основы модификации материалов методами нетрадиционных технологий (МНТ-V). – Обнинск. – 1999. – С.43.
3. Madakson P.B. // J.Appl.Phys. – V.55(9). – 1994. – P.3308.

IMPURITY REDISTRIBUTION IN Al ALLOY UNDER ION IMPLANTATION

G.A.Gusakov¹, S.I.Zhukova², N.V.Ukhov¹

¹Institute of Applied Physics Problem, Kurchatova, 7, 220064, Minsk, tel.277-19-34

²The Belorussian State University, 220050, Minsk, F. Scorina Ave. 4, tel.226-57-00, e-mail: zhukova@phys.bsu.unibel.by

The distribution of basic impurities doping Al alloy D16 during antimony ion implantation ($E=100$ keV) and boron ion implantation ($E=20$ keV) has been investigated by Auger-electron spectroscopy. The increase of copper and magnesium atoms concentration has been found in layers implanted with antimony ions. Boron ion implantation doesn't cause the redistribution of impurities.