

УДК 539.12.04

М.Б. КОРНИИЧУК

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНОВ БОРА, АЗОТА И СУРЬМЫ В КОБАЛЬТЕ

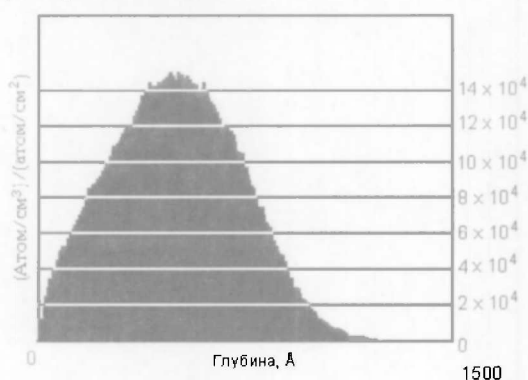
The simulation of implantation process for boron, nitrogen and antimony ions with different energies and doses in polycrystalline cobalt was performed with the help of program TRIM. It was established, that the quantity of implanted ions is insufficient for the formation of chemical compounds.

В процессе ионной имплантации в поверхностных слоях мишени происходят структурно-фазовые изменения. Эти изменения связаны в первую очередь с накоплением и перераспределением внедряемых ионов, образованием радиационных дефектов, распылением поверхностных слоев и появлением напряжений в матрице. Нами исследовалось распределение имплантированных ионов бора, азота и сурьмы в поликристаллическом кобальте.

Моделирование процесса имплантации ионов в матрицу кобальта проводилось с помощью программы TRIM [1], реализующей модель бинарных соударений [2]. Одной из основных выходных характеристик при этом является распределение внедренных ионов по глубине мишени x [3]:

$$N(x) = \frac{\Phi}{\sqrt{2\pi}\Delta R_p} \exp\left[-\frac{(x - R_p)^2}{2\Delta R_p^2}\right], \quad (1)$$

где Φ – имплантационная доза, R_p – средний проективный пробег, ΔR_p – среднеквадратичное отклонение проективного пробега. На рисунке представлен профиль распределения имплантированных ионов бора в мишени кобальта, который хорошо согласуется с экспериментально полученным распределением.



Распределение имплантированных ионов бора по глубине мишени

Заметим, что, зная дозу легированных ионов и имея профиль распределения, можно рассчитать концентрацию ионов в легированном слое и концентрацию ионов на глубине, соответствующей среднему проективному пробегу (табл. 1).

Леглируемые элементы могут образовывать химические соединения и твердые растворы с атомами матрицы. Известны следующие химические соединения кобальта с бором, азотом и сурьмой [4–8] (табл. 2).

Таблица 1

Концентрация ионов в легированном слое n и концентрация n_{Rp} на глубине, соответствующей среднему проективному пробегу

Ион	Φ , см ⁻²	n , ат. %	n_{Rp} , ат. %
B ⁺	10^{17}	8,0	14,5
N ⁺	7×10^{16}	6,4	11,9
Sb ⁺	10^{17}	13,4	29,5

Таблица 2

Возможные химические соединения кобальта

Элемент	Химическое соединение
B	Co ₃ B, Co ₂ B, CoB, CoB ₂
N	Co ₃ N, Co ₂ N
Sb	CoSb, CoSb ₂ , CoSb ₃

Из табл. 1 и 2 следует, что концентрация внедренных ионов недостаточна для образования химических соединений с кобальтом в поверхностных слоях мишени при данных условиях имплантации, так как она не отвечает необходимым стехиометрическим пропорциям. Кроме того, следует учесть распыление поверхностных легированных слоев матрицы, которое происходит в процессе имплантации. Используя коэффициент распыления S , определенный с помощью программы TRIM, можно рассчитать толщину d распыленного слоя мишени согласно [9]:

$$d = S\Phi / N_0, \quad (2)$$

где N_0 – атомная плотность матрицы (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициент распыления S и толщина распыленного слоя d

Ион	S	Φ , см ⁻²	d , нм
B ⁺	0,73	10^{17}	8,1
N ⁺	1,17	7×10^{16}	9,1
Sb ⁺	9,20	10^{17}	102,6

При имплантации ионов сурьмы дозой 10^{17} см⁻² толщина распыленного слоя составляет порядка 100 нм, что значительно превышает рассчитанную с помощью программы TRIM величину среднего проективного пробега ионов в матрице кобальта, максимальное значение которой составляет 50 нм. Следовательно, реальная концентрация легированных ионов в мишени (с учетом распыления) будет меньше приведенной в табл. 1.

Растворимость бора, азота и сурьмы в матрице кобальта в равновесных условиях при комнатной температуре пренебрежимо мала [4, 5]. Однако процесс ионной имплантации является сильно неравновесным процессом. В таких условиях возможно формирование твердых растворов легирующего элемента с атомами матрицы. Модифицированное правило Юм-Розери гласит, что твердые растворы замещения образуются, если: радиус атомов примеси составляет от 85 до 140 % радиуса атомов матрицы; электроотрицательность этих атомов различается не более чем $\pm 0,7$ [10]. Согласно этому правилу, формирование твердого раствора замещения возможно только в случае имплантации ионов сурьмы, в случае имплантации ионов азота и бора может формироваться твердый раствор внедрения.

Таким образом, ожидать заметных выделений кобальта с имплантированными ионами не приходится, что подтверждается рентгеноструктурными исследованиями.

1. Колобов Ю.Р., Шаркеев Ю.П., Абдрашитов В.Г., Кашин О.А. // Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов: В 2 т. Новосибирск, 1995. Т. 2. С. 214.

2. Аккерман А.Ф. Моделирование траекторий заряженных частиц в веществе. М., 1991.

3. Риссел Х., Руге И. Ионная имплантация. М., 1983.

4. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. М., 1962.

5. Эллиот Р.П. Структуры двойных сплавов: Справ. М., 1970. Т. 1.

6. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Бориды. М., 1975.

7. Самсонов Г.В. Нитриды. Киев, 1969.

8. Самсонов Г.В., Абдусаламова М.Н. Антимониды. Душанбе, 1977.

9. Быковский Ю.А., Неволлин В.Н., Фоминский В.Ю. Ионная и лазерная имплантация металлических материалов. М., 1991.

10. Анищик В.М., Маркевич М.И., Пискунов Ф.А. и др. Модификация материалов лазерными и ионными пучками. Мн., 1998.

Поступила в редакцию 05.12.2000.

Корнийчук Максим Борисович – инженер.