

ЗАДАЧІ

1. При температурі поблизу точки плавлення рівноважна концентрація вакансій у магнії дорівнює $7,2 \cdot 10^{-4}$. Приблизно оцініть рівноважну концентрацію вакансій у магнії при кімнатній температурі.
2. Приблизно оцініть енергію утворення вакансії в г.ц.к. металі, якщо експериментально визначена рівноважна концентрація вакансій при 927°C дорівнює $1 \cdot 10^{-5}$.
3. Оцініть, на скільки порядків зміниться рівноважна концентрація вакансій у металі при підвищенні температури з 600 до 1000°C , якщо при 600°C ця концентрація дорівнює $9,1 \cdot 10^{-6}$.
4. Зневажаючи ентропією утворення вакансій, визначте їхню рівноважну концентрацію C_V у сріблі в інтервалі температур від 200 до 1200 К з кроком 200 К. Побудуйте графік C_V — T .
5. Оцініть внутрішню енергію, обумовлену наявністю вакансій в одному молі міді при 27 і 1027°C .
6. Рівноважна концентрація вакансій у г.ц.к. металі при кімнатній температурі дорівнює 10^{-20} . Приблизно оцініть, на скільки порядків концентрація гартівних вакансій при різкому охолодженні з 927°C буде більше рівноважної їхньої концентрації при кімнатній температурі.
7. У міді, загартованої з 600°C , міститься $1,1 \cdot 10^{-5}\%$ (ат.) вакансій. Яку температуру загартування варто вибрати, щоб концентрація вакансій зросла на два порядки?
8. Оцініть середні відстані між рівноважними вакансіями в алюмінії при 27°C і між гартівними вакансіями при тій же температурі після загартування з 627°C (за умови, що усі високотемпературні моновакансії «заморожуються» і розподілені статистично рівномірно).
9. Метал містить $0,1\%$ (ат.) рівномірно розподіленої домішки заміщення. Визначте середню відстань між домішковими атомами в одиницях періоду г.ц.к. і о.ц.к. ґратки.

10. Приймаючи енергію утворення міжвузловинного атома в міді рівною 3 еВ, приблизно оцініть відношення кількості вакансій і міжвузловинних атомів в умовах термодинамічної рівноваги при кімнатній температурі і 1000°C .
11. У скільки разів розрізняються частоти перескоків вакансій в алюмінії і платині при 500°C ? Допустіть, що $S_m/k \sim 1$.
12. Енергія активації міграції вакансій у нікелі дорівнює 1,50 еВ, а енергія активації самодифузії 3,03 еВ. Визначте відношення рівноважної концентрації вакансій при 1027°C до рівноважної концентрації вакансій при 27°C .
13. Чому дорівнює енергія зв'язку вакансій у міді з домішковими атомами германію, якщо температурна залежність концентрації комплексів “вакансія-германій” характеризується енергією активації 1,03 еВ?
14. Енергія зв'язку атомів кремнію і срібла з вакансіями в алюмінії дорівнює 0,07 і 0,01 еВ відповідно. Зневажаючи різницю в ентропійному факторі, визначте відношення концентрацій комплексів “вакансія-кремній” і “вакансія-срібло” в алюмінії при 27°C і однаковій концентрації цих домішок у розведеному розчині.
15. Оцініть відношення концентрації комплексів “вакансія-кремній” до концентрації вільних вакансій в алюмінії, що містить 0,01 % (ат.) Si при 27°C . Енергія зв'язку в комплексі 0,07 еВ. Ентропійний фактор приблизно дорівнює одиниці. Допустіть, що концентрації вільних і зв'язаних вакансій незалежні (це справедливо для сильно розведених розчинів).
16. У досліді по паралельному вимірюванню довжини і періоду ґратки стержня з алюмінію концентрація вакансій при 655°C опинилася рівною $4,9 \cdot 10^{-4}$, а при 620°C – $3,7 \cdot 10^{-4}$. Визначте енергію й ентропію утворення вакансій в алюмінії.
17. При нагріванні срібного стержня до температури плавлення 961°C відносне збільшення довжини стержня перевищує відносне збільшення

періоду ґратки срібла на $5,6 \cdot 10^{-3}\%$. Вважаючи, що вакансійні комплекси відсутні і приймаючи $S_0/k=1,5$, визначте енергію утворення вакансій E_0 .

18. При загартуванні з 700 і 950⁰С електроопір золота при 78 К стає більше, ніж у добре відпаленому стані, на 0,7 і 9,0 % відповідно. Визначте за цими даними рівноважну концентрацію вакансій у золоті при 827⁰С, зневажаючи ентропійним фактором.
19. При температурі, близькій до точки плавлення, у стержні з золота рівноважна концентрація вакансій складає $7,2 \cdot 10^{-4}$. При загартуванні всі ці вакансії виявляються «замороженими». При відпалі, що відновлює рівноважну дуже низьку концентрацію вакансій, відносне укорочення стержня складає $1,1 \cdot 10^{-4}$. Яка зміна періоду ґратки у процесі цього відпалу?
20. Після різкого охолодження алюмінію з температури поблизу точки плавлення під час вилежування при кімнатній температурі густина зразка змінюється. Оцініть максимально можливу величину цієї зміни.
21. Покажіть, що вектор Бюргерса прямолінійного ланцюжка міжвузловинних атомів, розташованого в напрямку $\langle 100 \rangle$ кубічної ґратки, дорівнює нулю.
22. У зразку алюмінію після різкого охолодження у воді з'явилися дислокаційні петлі, число яких дорівнює $1 \cdot 10^{-15} \text{ см}^{-3}$, а середній діаметр 30 нм. Оцініть концентрацію вакансій при температурі, з якої охолоджувався зразок.
23. Після різкого охолодження алюмінію у воді з 630⁰С усередині зерен з'являється безліч призматичних петель, що лежать у площинах $\{111\}$, причому в зонах шириною близько 1 мкм по обох боках від границь зерен зазначені петлі не виникають. Чим обумовлено існування таких зон і як повинна впливати швидкість охолодження з 630⁰С на їхню ширину?

24. У мідній фользі після ядерного опромінення з'явилися дислокаційні петлі, число яких склало 10^{15} см^{-3} , а середній діаметр дорівнює 40 нм. Оцініть концентрацію точкових дефектів, що виникла в міді при опроміненні і конденсація яких привела до утворення дислокаційних петель.

ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ

Таблиця 1

Експериментальні значення енергії (E_0) і ентропії (S_0) утворення моновакансій, енергії активації міграції моновакансій (E_m) і енергії активації самодифузії (E_{cd}) у різних металах

Метал	E_0 , eV	S_0/k	E_m , eV	E_0+E_m , eV	E_{cd} , eV
<i>Г.ц.к.гратка</i>					
Au	0,95	0,7	0,83	1,78	1,76
Ag	1,13	1,5	0,66	1,79	1,76
Cu	1,28	2,4	0,71	1,99	2,07
Al	0,67	0,7	0,62	1,29	1,28
Pt	1,51	-	1,43	2,94	2,9
<i>О.ц.к.гратка</i>					
W	~3,6	2	1,7	~5,3	<5,7
Mo	~3,2	-	1,3	~4,5	~4,5

Таблиця 2

Період гратки (a) і модуль зсуву (G) деяких металів

Параметр	Метал				
	Ag	Au	Cu	Al	Ni
a , нм	0,408	0,407	0,361	0,404	0,352
G , ГПа	28	28	42,4	27,6	73

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Новиков И.И. Дефекты кристаллического строения металлов.- М.: Металлургия, 1983.
2. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов в кристаллах.- М.: Высшая школа, 1983.
3. Ермаков С.С. Физика металлов и дефекты кристаллического строения.-Л.: Ленинградский университет, 1989.
4. Новиков Н.Н. Структура и структурно-чувствительные свойства реальных кристаллов.-Киев: Вища школа, 1983.
5. Жданов Г.С, Хунджуа А. Г. Лекции по физике твердого тела: принципы строения, реальная структура, фазовые превращения.- М.: МГУ, 1988.
6. Структура реальных кристаллов // под ред. В.Н.Гриднева.- К.: Наукова думка, 1988.
7. Физическое металловедение. Т.3 // под ред. Р.У. Кана и П. Хаазена. М.: Металлургия, 1987.