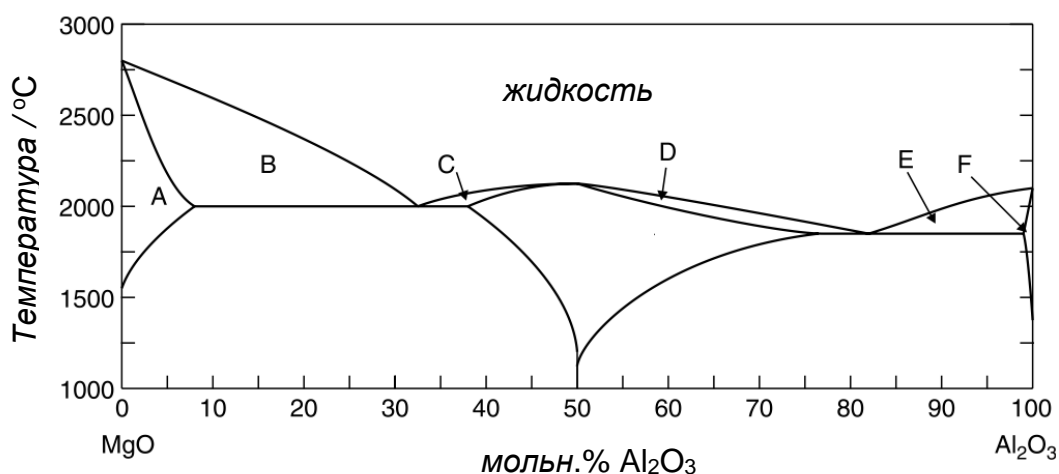


**Примеры заданий отборочного тура универсиады МГУ-ППИ
по направлению «Химия, физика и механика материалов»
Задание 1**

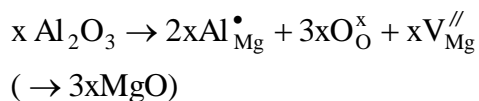


На рисунке представлена фазовая диаграмма системы MgO-Al₂O₃. Анализируя данную фазовую диаграмму, аргументировано дайте ответы на следующие вопросы.

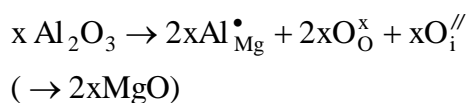
1. Каков стехиометрический состав промежуточного химического соединения, которое образуется из оксидов MgO-Al₂O₃?
2. Определите, каким фазам или смеси фаз соответствуют области фазовой диаграммы, обозначенные буквами А, В, С, D, Е, F.
3. Какова максимальная растворимость (в мольн. %) оксида Al₂O₃ в оксиде MgO? Укажите значение температуры, при которой достигается эта максимальная растворимость.
4. При 1800⁰С растворимость оксида Al₂O₃ в MgO составляет 5 мольн. % Al₂O₃. Напишите возможные квазихимические уравнения образования точечных дефектов, предполагая, что дефекты образуются: (а) в катионной и (б) анионной подрешетках.

Ответы

1. MgAl₂O₄ (MgO·Al₂O₃)
2. Область А - твердый раствор на основе MgO: (1-х)MgO и хAl₂O₃;
 Область В - расплав и твердый раствор на основе MgO;
 Области С и D - расплав и твердый раствор на основе MgAl₂O₄;
 Область Е - расплав и твердый раствор на основе Al₂O₃;
 Область F - твердый раствор на основе Al₂O₃: (1-х)Al₂O₃ и хMgO.
3. Максимальная растворимость ~7.8 мольн. % Al₂O₃ достигается при 2000⁰С.
4. (а) - дефекты образуются в катионной подрешетке:



(б) - дефекты образуются в анионной подрешетке:



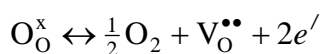
Задание 2

Известно, что основным типом точечных дефектов в оксиде $\text{Ba}_2\text{In}_2\text{O}_5$ являются дефекты Френкеля в кислородной подрешетке. Кроме того было установлено, что при температуре порядка 700°C и парциальном давлении кислорода $p_{\text{O}_2} \leq 10^{-4}$ атм. этот оксид становится полупроводником n -типа, а при более высоких давлениях ($p_{\text{O}_2} > 10^{-4}$ атм.) проявляет p -тип проводимости. Основываясь на этой информации, дайте ответ на следующие вопросы.

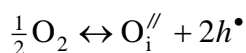
1. Запишите квазихимические уравнения дефектообразования при низких ($< 10^{-4}$ атм.) и повышенных ($> 10^{-4}$ атм.) парциальных давлениях кислорода.
2. Для каждой из двух областей давлений p_{O_2} выведите зависимость проводимости (σ), как функции p_{O_2} , то есть зависимости вида $\sigma \propto (p_{\text{O}_2})^n$ (показатель степени n может принимать как положительные, так и отрицательные значения).
3. Используя полученные уравнения, схематически постройте график $\log \sigma = f(\log p_{\text{O}_2})$.

Ответы

1. Низкие давления ($p_{\text{O}_2} \leq 10^{-4}$ атм.):

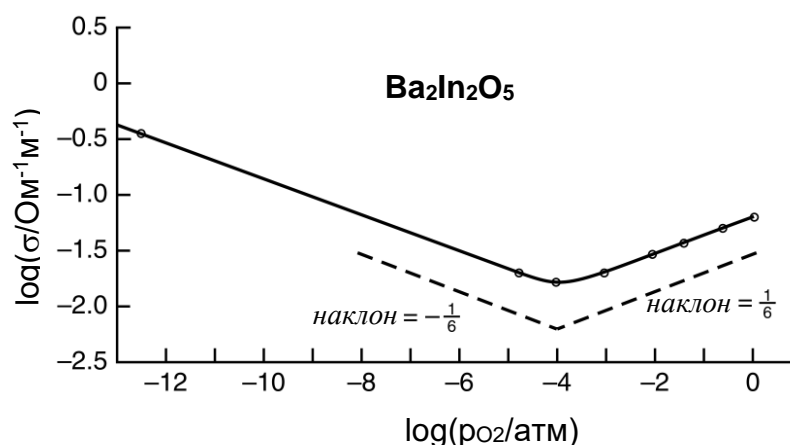


Повышенное давление кислорода ($p_{\text{O}_2} > 10^{-4}$ атм.):



2. $\sigma_e \propto [e'] \propto (p_{\text{O}_2})^{-1/6}$ (при $p_{\text{O}_2} \leq 10^{-4}$ атм.) и $\sigma_h \propto [h^\bullet] \propto (p_{\text{O}_2})^{1/6}$

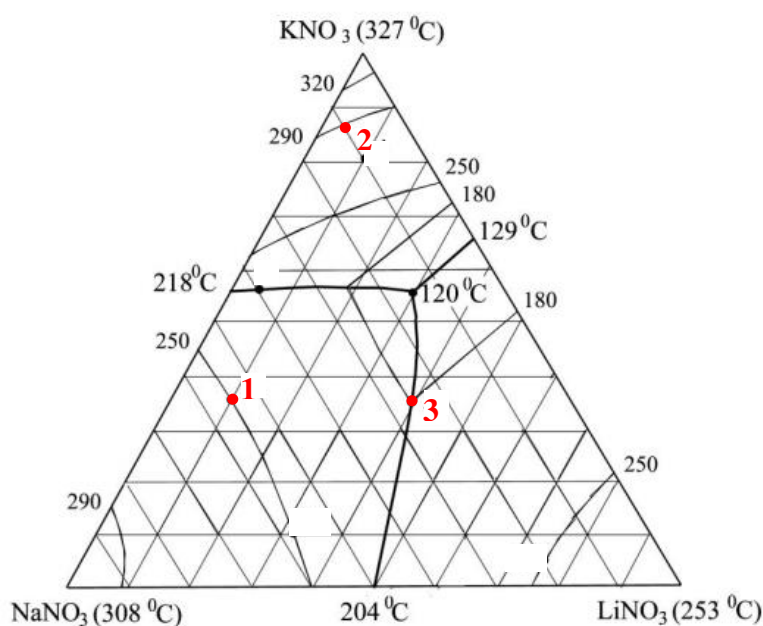
3. Зависимость проводимости от парциального давления.



Задание 3

На рисунке представлена фазовая диаграмма трехкомпонентной системы $\text{KNO}_3\text{-NaNO}_3\text{-LiNO}_3$. Основываясь на данную фазовую диаграмму, дайте ответ на следующие вопросы.

1. Укажите "маршрут" (направление и траекторию) движения по поверхности ликвидуса при охлаждении расплавов, состав которых выражается фигуративными точками (1, 2, 3).
2. Постройте кривые охлаждения из точек 1, 2, 3. Для каждого температурного интервала указать фазовый состав и число степеней свободы. Укажите температуры всех переходов.
3. Укажите фазовый состав при первичной и вторичной кристаллизации расплавов 1, 2, 3.



Ответы

3. Точка 1. Первичная кристаллизация при 250°C : $\text{S}(\text{NaNO}_3)$. Вторичная кристаллизация при 218°C : $\text{S}(\text{NaNO}_3) + \text{S}(\text{KNO}_3)$. Ниже 120°C - полная кристаллизация всех солей.

Точка 2. Первичная кристаллизация при 290°C : $\text{S}(\text{KNO}_3)$. Вторичная кристаллизация при 218°C : $\text{S}(\text{NaNO}_3) + \text{S}(\text{KNO}_3)$. Ниже 120°C - полная кристаллизация всех солей.

Точка 3. Первичная кристаллизация при 180°C : $\text{S}(\text{NaNO}_3) + \text{S}(\text{LiNO}_3)$. Ниже 120°C - полная кристаллизация всех солей.

Задачи по физике твердого тела и полупроводников

1. Коэффициент отражения света при нормальном падении из воздуха на поверхность чистого полупроводникового кристалла поставил $R=0,3$. Предполагая, что энергия

фотонов падающего света намного превышает энергии фононов в кристаллической решетке полупроводника, но меньше величины его запрещенной зоны, определить с точностью до десятых долей величину относительного показателя преломления n данного полупроводника.

2. Предполагая, что уровень фотогенерации малый, а рекомбинация идет через простые дефекты, определить время жизни τ неравновесных носителей заряда в полупроводнике при пространственно-однородной фотогенерации, если в момент времени $t_1 = 1$ мкс после прекращения фотогенерации концентрация электронно-дырочных пар оказалась в 2,7 раз больше, чем в момент времени $t_2 = 10$ мкс.

Решения

1. Поскольку для указанных условий по энергии фотонов можно пренебречь мнимой частью показателя преломления, тогда при нормальном падении коэффициент отражения равен:

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2,$$

Следовательно: $n = \frac{1+\sqrt{R}}{1-\sqrt{R}} = 3,4.$

2. Для указанных условий по фотогенерации концентрация электронно-дырочных пар спадает по закону:

$$N(t) = N(0)\exp(-t/\tau)$$

Следовательно: $\frac{N(t_1)}{N(t_2)} = \exp\left(\frac{t_2-t_1}{\tau}\right),$

$$\frac{t_2-t_1}{\tau} = \ln \frac{N(t_1)}{N(t_2)} = \ln 2,7 \approx 1$$

$$\tau = t_2 - t_1 = 9 \text{ мкс.}$$

Ответы:

1. $n = 3,4$
2. $\tau = 9 \text{ мкс}$

1) В материальной точке в некотором декартовом базисе задан тензор напряжений

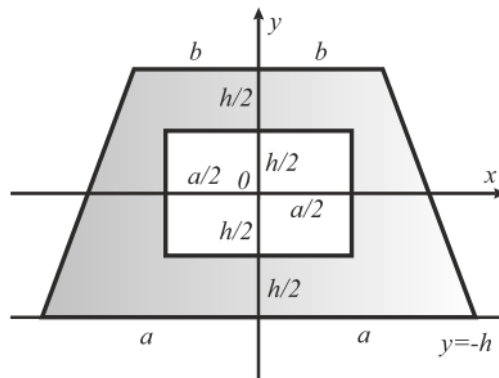
$$\underline{\underline{\sigma}} = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 0 \\ -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}.$$

- Вычислить главные значения $\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$ тензора напряжений $\underline{\underline{\sigma}}$.
- Вычислить значение максимального касательного напряжения τ_{\max} .
- Вычислить главные инварианты $I_{\underline{\underline{\sigma}}}, II_{\underline{\underline{\sigma}}}, III_{\underline{\underline{\sigma}}}$ тензора напряжений $\underline{\underline{\sigma}}$.
- Для тензора напряжений $\underline{\underline{\sigma}}$ вычислить компоненты шарового тензора $\underline{\underline{\sigma}}^o$ и дивизора $\underline{\underline{s}}$.
- Для площадки, определённой вектором единичной внешней нормали

$$\vec{n} = \frac{1}{\sqrt{3}} (1, -1, 1), \text{ вычислить компоненты вектора напряжений } \vec{P}^{(n)}, \text{ нормальное}$$

напряжение σ_n и касательное напряжение τ .

2) Для выделенной части трапеции, изображенной на рисунке, вычислить осевой момент инерции относительно прямой $y = -h$.



3) Вычислить и построить эпюры поперечной силы Q_y и крутящего момента M_x для балки, изображенной на рисунке:

