

ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ ОДНОРІДНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КРИСТАЛІВ І ШАРІВ З РОЗПЛАВІВ І РОЗЧИНІВ

Проаналізовано вплив магнітного поля на процеси кристалізації з розплавів і розчинів. Показано, що це поле приводить до мікро- і макроперемішування компонентів в рідкій фазі і вирощування високооднорідних кристалів та шарів напівпровідників.

Чисті і леговані складні напівпровідники груп A^2B^6 , A^3B^5 , A^2B^5 та їх тверді розчини використовуються як у вигляді об'ємних кристалів, так і у вигляді шарів і плівок. Але у всіх випадках одним з найважливіших параметрів, що характеризує ці середовища є їх макро- і мікрооднорідність. Нами розглянуто ряд технологічних варіантів, їх фізичних або фізико-хімічних принципів і способів їх практичного здійснення, що дозволяють покращити однорідність кристалічних структур. Особлива увага приділяється способам підготовки розплаву чи розчину і його стану в процесі кристалізації. Тут вирішальну роль відіграють процеси макро- і мікроперемішування, які можуть або інтенсифікуватись, або значно послаблюватись в залежності від зовнішніх впливів як в об'ємі рідкої фази, так і в її приграничних областях [1,2].

Такими факторами, що накладаються ззовні, є різноманітні поля – електричні, електромагнітні, гравітаційні, які широко використовуються в різних технологіях. Їх розгляд в розумінні аналізу їх дії і нових варіантів застосування буде проведено нами в подальших розробках по даній темі.

Тут ми зупинимось на аналізі впливу постійного і змінного полів на процеси в системі розплав (розчин) - кристал, в структурі якої зручно виділити чотири частини, де дія поля приводить до

різних результатів.

Частини системи: I – конвективна область, що охоплює основну частину об'єму рідкої фази; II – дифузійний шар товщиною δ поблизу фронту кристалізації, де перемішування відбувається тільки за рахунок дифузії; III – область поверхні фронту кристалізації і близькі до неї атомарні (молекулярні) шари «рідкої» фази; IV - кристалічне середовище (кристал, шар).

В області I магнітне поле може приводити до чисто протилежних макроефектів: інтенсифікації перемішування рідкої фази і гальмування руху потоків до їх повної зупинки [3]. Перший ефект досягається магнітним полем, що обертається, чим створюється можливість інтенсифікації руху потоків в рідкій фазі, тобто підсилення того ж процесу, який створюється гравітаційною конвекцією, але при цьому можливий більш широкий вибір напрямку і швидкості руху потоків, що керуються магнітним полем [3]. Цим способом досягається і зменшення товщини дифузійного шару δ , а, відповідно, і наближення ефективного коефіцієнта сегрегації до рівноважного.

Гальмування конвективних чи інших потоків аж до їх повної зупинки проходить в постійному магнітному полі. Останній варіант відкриває можливість стабілізації розподілу теплових потоків по часу і в просторі та виключає їх коливання біля фронту кристалізації; дозволяє значно розширити область дифузійного шару δ аж до розмірів l всього об'єму розплаву. В цьому випадку стає ефективним вирощування однорідних твердих розчинів направленою кристалізацією на малих швидкостях шляхом їх програмування. Метод ефективний при витягуванні монокристалів з розплаву в тиглі, якщо полем гальмуються конвективні потоки. Необхідно врахувати, що найбільший ефект досягається, якщо кристал і плівка будуть знаходитися в русі відносно рідкої фази (обертатися або лінійно переміщуватися).

Нами проаналізовані процеси в рідині поблизу плоского диску (циліндра), що обертається з кутовою швидкістю чи пластини, яка коливається, при розміщенні системи в постійному магнітному полі, яке перпендикулярне до площини диску (пластини). Для товщини d_c дифузійного шару отримано вираз:

$$d_c = \frac{1,6D^{1/3}}{w^{1/2}} \left[\frac{v}{1 + \frac{m^3 s^2 H^3 e}{w^2}} \right], \quad (1)$$

де v – лінійна швидкість руху точки дифузійного шару під дією магнітного поля; ω - швидкість обертання диску; m і e - магнітна і діелектрична проникність середовища; H – магнітна індукція.

З (1) випливає, що із збільшенням магнітної індукції чи швидкості переміщення дифузійного шару в магнітному полі його товщина зменшується і відповідно ефективний коефіцієнт сегрегації наближується до рівноважного. В розчині чи розплаві знаходяться частинки, що мають різні ефективні заряди аж до протилежних по знаку. В такому випадку варто розглянути взаємодію цих частинок з магнітним полем в мікромасштабі, тобто розглянути вплив магнітного поля на дифузійні процеси в рідині, що рухається в магнітному полі і яка містить вищезгадані частки. В рівняння переносу заряду в магнітному полі в самому загальному вигляді входить член $(e^* \dot{\vec{E}} + e^* [\dot{\vec{v}} \times \dot{\vec{B}}])$ [4], який враховує взаємодію частинок з ефективним зарядом e^* з магнітним полем $\dot{\vec{B}}$. Звідки випливає, що вплив магнітного поля на розчини полягає в електродинамічній дії на іони, асоціати, що мають ефективні заряди. На кожний заряд буде діяти сила Лоренца, яка складається з двох компонент F_y і F_z , що направлені по осях z і y і визначаються за формулами

$$F_y = (e^*/c) w_z B_z \sin j + e E_y e_x, \quad F_z = (e^*/c) v_y B_y + e E_z. \quad (2)$$

Сила Лоренца приводить до зміни траєкторії частинок, що рухаються, надаючи їм рух в площині, перпендикулярній напрямку магнітної індукції. Величина та напрямок швидкості, радіуси закруглення траєкторії частинок, що рухаються з розчином, різні і залежать від величини і знаку їх ефективних зарядів, маси, а також від в'язкості середовища. Таким чином, магнітне поле може

приводити до додаткового перемішування в розчинах на мікрорівні за рахунок різних напрямків і інтенсивності руху в них різних компонентів розплаву. Це приводить до підвищення однорідності і розподілу частинок не тільки в дифузійному шарі, що дуже важливо, але і в конвективних потоках в об'ємі рідини, у випадку коли вони повністю не загальмовані.

Сила Лоренца буде приводити до додаткового пересування заряджених часток в області самої поверхні кристалізації, тобто в області III, вона буде діяти на іони, асоціати, що захоплені силами поверхневих зв'язків фронту кристалізації або які мігрують по поверхні, буде сприяти відриву від поверхні молекулярних залишків хімічних сполук, що розкладаються на поверхні з виділенням компонентів кристалічної фази, тобто буде покращуватись рівномірність і величина притоку до поверхні нових молекул сполук. Останнє – при хімічному осадженні шарів.

Якщо речовину помістити в магнітне поле напруженості $\overset{\cdot}{H}$, то індукція всередині нього визначається величиною $\overset{\cdot}{B}$, яка пов'язана з напруженістю поля співвідношенням

$$\overset{\cdot}{B} = \overset{\cdot}{H} - 4\pi\overset{\cdot}{J}, \quad (3)$$

де $\overset{\cdot}{J}$ – намагніченість, $\overset{\cdot}{J}/\overset{\cdot}{H}$ – магнітна сприйнятливості одиниці об'єму. Як речовина в цілому, так і окремі частинки в змішаній системі при внесенні в магнітне поле набувають індукований магнітний момент [4]. Парамагнітні речовини мають постійний момент. Тому, при введенні в магнітне поле системи з різних частинок, на останні буде діяти орієнтаційний ефект, який пропорційний сприйнятливості частинок і величині поля і який змінюється зі зміною величини і напрямку поля. Якщо магнітне поле неоднорідне і має градієнт $\partial\overset{\cdot}{H}/\partial\overset{\cdot}{S}$ в напрямку $\overset{\cdot}{S}$, то на діамагнітні і парамагнітні частки, як і на все тіло в цілому, будуть діяти сили, що приводять до лінійного зміщення і які пропорційні добутку моменту на градієнт поля

$$\left| \overset{\cdot}{f} \right| \approx \left| xV\overset{\cdot}{H} \frac{\partial\overset{\cdot}{H}}{\partial\overset{\cdot}{S}} \right|, \quad (4)$$

де V - об'єм. Діа- та парамагнітні частини будуть переміщуватись в

протилежні напрямки.

З вищесказаного випливає, що за допомогою магнітного поля можна здійснювати мікроперемішування і інтенсифікувати міграцію частинок в самих критичних областях системи при кристалізації з розчинів і розплавів різних речовин і особливо напівпровідників. Описані ефекти дали позитивні результати при вирощуванні нами об'ємних напівпровідників груп A^2B^6 , A^3B^5 , A^2B^5 і плівкових структур.

Магнітне поле приводить до збільшення ймовірності утворення зародків і однорідного росту осаджуваних плівок, не вимагаючи зміни температури і складу рідкої фази розчину, покращуючи структурну досконалість кристалів за рахунок покращання умов міграції частинок, що забудовують плівку, збільшуючи ймовірність розміщення частинок в термодинамічно найбільш вигідних місцях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вигдорович В.Н. Совершенствование зонной перекристаллизации.- М.: Металлургия, 1974.- 200 с.
2. Пфан В.Дж. Зонная плавка.- М.: Мир, 1972.- 308 с.
3. Каилинг Г. Магнитная гидродинамика.- М.:Мир, 1974.-132 с.
4. Селвуд П. Магнетохимия.- М.: ИЛ, 1958.- 457 с.

SUMMARY

RARENKO A.I.

THE MAGNETIC FIELD INFLUENCE ON THE FORMATION PROCESSES OF HOMOGENEOUS SEMICONDUCTOR CRYSTALS AND LAYERS FROM THE MELT AND SATURATED SOLUTIONS

The magnetic field influence on the crystallization processes from the melt and saturated solutions is analyzed. It is shown that this field cause micro- and macromixing of components in liquid phase and make it possible to grow high-homogeneous semiconductor crystals and saturated solutions.