

Винахід відноситься до неруйнуючих методів контролю якості матеріалів і може бути використаний для контролю кристалографічної орієнтації масивних металевих монокристалів по відношенню до поверхні зразків.

Відомий спосіб орієнтування металевих монокристалів [1], заснований на дифракції рентгенівських променів на кристалічній решітці зразка (метод Лауе) та аналізі прямих або зворотних лауеграм, отриманих на рентгенівській плівці. Вадой цього способу є те, що рентгенівському випромінюванню, в силу його сильного поглинання металами, можуть бути доступні тільки приповерхневі шари зразка з порушенням строгої правильності кристалічної решітки та її розворотом відносно останньої частини монокристалу (десятки кутових хвилин) у процесі обробки поверхні і тому цей спосіб непридатний для контролю кристалічної орієнтації масивних зразків з достатньою для рентгенівських методів точністю (декілька кутових хвилин). Крім цього не виключено, що внутрішня частина масивного зразка може мати блочну субструктуру, що не виходить на його поверхню, що ще більше не сприяє орієнтуванню зразка з належною точністю. Крім цього спосіб пов'язаний зі шкідливими для людини умовами праці з рентгенівським випромінюванням.

Найбільш близьким до винаходу по технічним можливостям є спосіб визначення ступеня досконалості металевих монокристалів [2], заснований на поглинанні ультразвуку охолодженням до температури рідкого гелію і розташованим у сильному магнітному крупноблочним металевим полікристалом, фрагменти якого взаємно розорієнтовані на малі кути порядку декількох хвилин. Однак, цей спосіб, придатний для кількісного визначення ступеня полікристалічності або якісного визначення ступеня монокристалічності металевих зразків, не придатний

для орієнтування монокристалів в силу малих кутів відхилення φ від перпендикулярності між хвильовим вектором ультразвуку і вектором магнітного поля (десяті частки градуса).

Задачею винаходу є створення нового ультразвукового способу орієнтування металевих монокристалів, в якому шляхом змінення кута відхилення від перпендикулярності між напрямком розповсюдження ультразвуку і магнітним полем в границях $\pm 10^\circ$ створюються умови для реєстрації піків, відповідних похилому ефекту, (ПЕ) Ренекера [3] і спіральним циклотронним хвилям (СЦХ) [4], по відносному зміщенню піків визначається кут розорієнтування монокристалу по відношенню до робочих поверхонь зразка, що дозволяє підвищити точність орієнтування і збільшити товщину зразків, що досліджуються.

Поставлена задача розв'язується таким чином, що в ультразвуковому способі орієнтування металевих монокристалів, що включає пропускання ультразвуку крізь охолоджений до температури рідкого гелію зразка у напрямку відкритої поверхні Фермі (ПФ), який розташовується в магнітному полі 5-15кЕ, перпендикулярному напрямку розповсюдження ультразвуку, реєстрацію піків поглинання ультразвуку при зміні кута φ між напрямком розповсюдження ультразвуку і магнітним полем, передбачено змінення вказаного кута в границях $\pm 10^\circ$ до прояви двох магнітоакустичних ефектів - похилого ефекту Ренекера і спіральних циклотронних хвиль, причому про ступінь розорієнтування кристала судять по відносному зміщенню піків, відповідних цим ефектам.

При реалізації заявленого способу в металах з відкритою поверхнею Фермі на залежності коефіцієнта поглинання ультразвуку α від кута нахилу φ спостерігаються два ефекти значно різної природи - похилий ефект і один із типів власних електромагнітних хвиль в металі - спіральні циклотронні хвилі. Обидва ефекти проявляються на залежності $\alpha(\varphi)$ у вигляді піків поглинання при різних кутах $\pm \varphi$, причому СЦХ резонансним чином взаємодіють з ультразвуком, що їх викликає (так звані зв'язані хвилі), що приводить до різних піків поглинання на залежності $\alpha(\varphi)$. Різна природа цих ефектів проявляється в тому, що піки ПЕ на залежності $\alpha(\varphi)$ симетричні відносно напрямку розповсюдження ультразвуку (хвильовий вектор \vec{q}), а піки СЦХ симетричні відносно напрямку відкритості ПФ (вектор \vec{b}).

Враховуючи приведені, очевидно, що якщо вектори \vec{q} і \vec{b} колінеарні, тобто напрямком відкритості ПФ (вектор \vec{b}) співпадає з нормаллю до робочих поверхонь зразка, то на залежності $\alpha(\varphi)$ піки ПЕ і СЦХ будуть взаємно симетричні, що відповідає добре зорієнтованому зразку. При порушенні колінеарності векторів \vec{q} і \vec{b} піки ПЕ і СЦХ на залежності $\alpha(\varphi)$ будуть зміщені одні відносно інших на деякий кут ν , відповідний відхиленню кристалографічної осі зразка, яка зв'язана з напрямком відкритості ПФ, від нормалі до його робочих поверхонь.

Таким чином, взаємне зміщення піків ПЕ і СЦХ на залежності $\alpha(\varphi)$ на кут ν буде свідчити про розорієнтацію монокристала на той же кут по відношенню до робочих поверхонь зразка.

Винахід ілюструється такими прикладами.

На фіг.1 приведена залежність коефіцієнта поглинання ультразвуку $\alpha(\varphi)$ для двох розорієнтованих монокристалічних зразків надчистого галію: фіг.1а відповідає випадку $\nu=0,15^\circ$, фіг.1б - $\nu=1,6^\circ$.

На фіг.2 приведена та ж залежність для добре зорієнтованого кристала галію - $\nu=0^\circ$ з точністю кілька кутових хвилин.

Піки А і А' зв'язані зі збудженням ультразвуком СЦХ, піки Б і В - з похилим ефектом Ренекера. Ці дані повністю корелюються з даними рентгеноструктурного аналізу для тих же зразків.

Кутове розділення запропонованого способу визначається шириною резонансної лінії СЦХ піка поглинання на залежності $\alpha(\varphi)$ і приймає значення не більше кутової хвилини, тобто не гірше, як при рентгенографії металів.

Використання запропонованого ультразвукового способу орієнтування металевих монокристалів у порівнянні з існуючим рентгенівським способом дозволить забезпечити такі переваги:

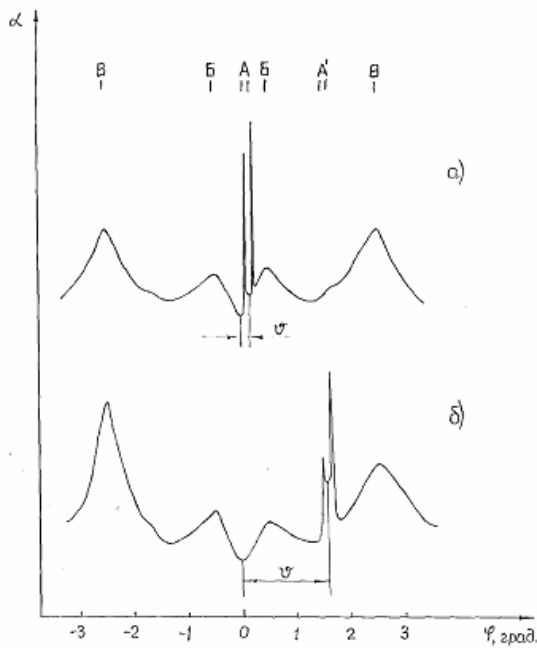
- значно, на декілька порядків, розширити границі товщини монокристалів, що досліджуються;
- кількісно визначати кути кристалографічної розорієнтації масивних монокристалів з точністю до сотих часток градуса;

- контролювати весь зразок відразу по всій його площині, оскільки ультразвукове випромінювання нема необхідності фокусувати в вузький пучок, цим у декілька разів можна зменшити час роботи з одним зразком;
- покращити умови праці шляхом усунення необхідності роботи з шкідливим для людини рентгеновським випромінюванням.

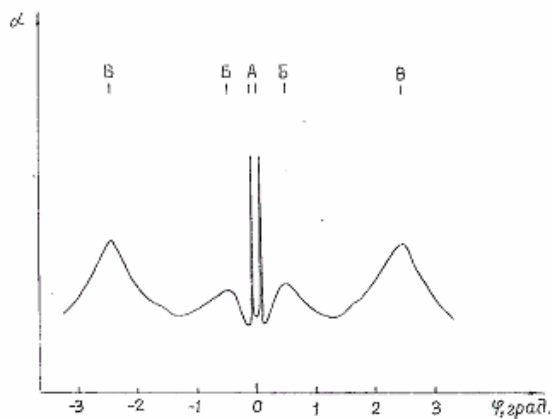
Пропонований спосіб можна використати для контролю кристалографічної орієнтації затравок при вирощуванні металевих монокристалів, для контролю відповідних виробів, а також для контролю орієнтування монокристалів, які застосовуються в наукових дослідженнях.

Джерела інформації

1. Б.Я. Пинес. Лекции по структурному анализу. - Харьков, изд-во Харьковского университета, 1967. -С.369-376; 234-241.
2. А.Е. Кабанов. Магнитоакустический метод определения степени совершенства металлических монокристаллов. // Металлофизика и новейшие технологии. - 2000. -22, №9 -С.25-28.
3. Reneker D.H. Ultrasonic attenuation in bismuth at low temperatures // Phys.Rev. -1959.-115, №2. -Р.303-313.
4. П.А. Безуглый, Н.Г. Бурма, А.М. Гришин, А.Е. Кабанов. Спиральные циклотронные волны в металлах с открытой поверхностью Ферми. //Письма в ЖЭТФ. - 1979. -30, №4. -С.222-226.



Фиг.1



Фиг.2