

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ

ім. О. С. ПОПОВА

На правах рукопису

ЦАРЕНКО Микола Олександрович

УДК 621.382.4+5

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІ СТАНИ
У РЬ-S-ФОТОРЕЗИСТОРАХ**

05.12.20 – оптоелектронні системи

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

О д е с а - 1996

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00752623 (P)

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ

ім. О. С. ПОПОВА

На правах рукопису

ЦАРЕНКО Микола Олександрович

УДК 621.382.4+5

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІ СТАНИ
У РЬ-S-ФОТОРЕЗИСТОРАХ**

05.12.20 – оптоелектронні системи

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

**ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України**

AB 35.473

Робота виконана в Південноукраїнському педагогічному
університеті ім. К.Д.Ушинського

Науковий керівник - Доктор фізико-математичних
наук, професор ГОХМАН О.Р.

Офіційні опоненти - Віце-президент Академії
зв'язку України, доктор
фізико-математичних наук,
професор Вікулін І.М.,
кандидат фізико-математичних
наук, доцент Солошенко В.І.

Ведуча організація: Одеський державний політехнічний
університет

Захист відбудеться " 20 " 09 1996р. об 10 год.

на засіданні спеціалізованої Ради К 05.18.02. при Українській
державній академії зв'язку ім. О.С.Попова за адресою : 270021,
Одеса - 21, вул. Челюскінців, 1 .

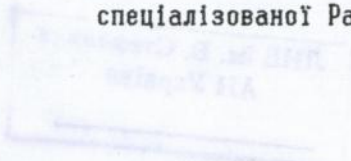
З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці академії.

Автореферат розіслано " 19 " 08 1996р.

Вчений секретар

спеціалізованої Ради К 05.18.02

ВОРОБІЄНКО П.П.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Дослідження фоточутливих плівок халькогенідів свинцю необхідне в зв'язку з актуальним завданням поліпшення параметрів фотоприймальних пристроїв інфрачервоного випромінювання. На даний час детально вивчено вплив хімічного складу окисної фази, перколяційної структури полікристалічних плівок на технологічні характеристики PbS-фоторезисторів. Порівняно мало вивченим залишається питання про вплив механічних характеристик контактів і плівок на властивості PbS-фоторезисторів. Тут виникають складні завдання дослідження текстури металевих контактів, врахування розподілу зерен по орієнтаціях, тобто кристалографічної текстури полікристалічних PbS-плівок і т.д.

Відомо, що характеристики полікристалічних плівок можуть суттєво змінюватись в процесі різних обробок. На сьогодні встановлено, що коли кристаліти мають різко виражену анізотропію властивостей, то функціональний зв'язок властивостей кристалітів і полікристалу достатньо повно описується функцією розподілу кристалітів по орієнтаціях (ФРО).

Коли вивчаються структурно-чутливі властивості матеріалів, то додатково до ФРО необхідно використати дані структурних досліджень.

Мета роботи полягає у визначенні впливу напружено-деформованих станів на параметри PbS-фоторезисторів (базовий матеріал - фізичні шари PbS).

Основні завдання дослідження:

- розробка неруйнуючого методу визначення залишкових напружень в текстурованих полікристалічних матеріалах у застосуванні щодо дослідження фізичних шарів PbS;

- дослідження пружних властивостей кристалітів текстурованих полікристалів;
- вимірювання залишкових деформацій рентгенівським способом в металевих плівках, які використовуються як контакти в PbS-фоторезисторах;
- дослідження кристалографічної текстури фізичних шарів PbS;
- встановлення кореляцій між текстурою і характеристиками напружено-деформованого стану з одного боку, та основними параметрами PbS-фоторезисторів - з іншого.

В дисертації розроблені нові методи:

- метод дослідження залишкових макронапружень в тонких металевих покриттях з урахуванням їх текстури;
- спосіб опису багатокомпонентних текстур сплавів системи Ti-Al-V, які використовуються при виготовленні омічних контактів, за допомогою ефективної ідеальної орієнтовки, яка враховує можливість неспівпадання кристалографічного напрямку $[10\bar{1}0]$ з напрямком прокатки, і метод визначення її куткових координат;
- метод дослідження напружено-деформованого стану текстурованих полікристалів за результатами рентгенографічних досліджень на основі ймовірнісного методу дослідження текстури та визначення зв'язку властивостей полікристалу і його кристалітів через інтегральні характеристики текстури;
- метод визначення залишкових напружень в PbS-фоторезисторах.

Використання вказаних методів дозволило встановити:

- закономірності текстуроутворення і формування анізотропії фізичних властивостей сплавів системи Ti-Al-V, що важливо для одержання контактів з оптимальними параметрами;

- величини рентгенівських пружних модулів і залишкових напружень в титанових сплавах, тонких плівках Ti-N, термічних покриттях титану, а також в системі PbS-підкладка;
- кореляцію анізотропії пружних рентгенівських модулів і залишкової деформації;
- стійкі кореляційні зв'язки між текстурою, рентгенівськими пружними модулями, залишковою деформацією, залишковими напруженнями з одного боку, та рівнем шуму і темновим опором PbS-фоторезисторів - з іншого.

Практична цінність. Розроблені методи і одержані в дисертації результати можуть бути безпосередньо використані для корегування технології і контролю якості PbS-фоторезисторів, а також в дослідженні структури й властивостей текстурованих полікристалічних матеріалів, взагалі.

Наукові положення, які виносяться на захист:

- підвищення точності й скорочення часу при визначенні залишкових напружень в текстурованих матеріалах досягається за допомогою використання ймовірнісного методу дослідження текстури і одержання зв'язку властивостей полікристалу з його кристалітами за допомогою інтегральних характеристик текстури;
- оптимальні значення характеристик фоточутливих фоторезисторів, які було досліджено, забезпечуються утворенням текстури спеціального виду (частка компоненти (100) складає 32%) і відповідного напружено-деформованого стану: рівень залишкових напружень і деформацій складає - $7,8 \cdot 10^6$ Па, і $5,9 \cdot 10^{-4}$, відповідно;
- текстура і залишкові напруження відносяться до критичних характеристик, які визначають параметри PbS-фоторезисторів.

Апробація роботи. Основні результати і положення дисертації доповідались та обговорювались на міжнародних, всесоюзних, республіканських конференціях:

- У Всесоюзная конференция по текстурам и рекристаллизации в металлах и сплавах (Уфа, 1987);
 - Всесоюзное Совещание "Высокотемпературная газовая коррозия и ее влияние на физико-механические свойства титана и его сплавов (Львов, 1989);
 - Семинар "Усовершенствование и развитие новых ресурсосберегающих технологий в промышленности, сварочном производстве и строительстве" (Минск, 1991);
 - І Українська конференція "Структура та фізичні властивості неспорядкованих систем" (Львів, 1993);
 - Третья международная научно-техническая конференция (Москва, 1994);
 - Третья международная конференция "Физика прочности и пластичности металлов и сплавов" (Барнаул, 1994)
 - MTNS Annual Meeting and Exhibition (Las-Vegas, Nevada, USA, 1995);
 - International Symposium "Advanced Materials and Technology for 21-st Century" (Honolulu, USA, 1995),
- а також на щорічних звітних наукових конференціях Південноукраїнського педагогічного університету.

Основний зміст дисертації опубліковано в одинадцяти роботах.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, основних висновків і результатів, списку літератури, який містить 737 назв, складає 120 стор. машинопис-

ного тексту, 49 мал.. 28 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розглядається актуальність теми, сформульована мета досліджень, відображено наукову новизну одержаних результатів, відзначена їх практична цінність, викладено положення, які виносяться на захист.

В першому розділі полікристали і кристаліти, які їх складають, розглядаються з точки зору статистичної фізики як макросистема і її структурні елементи.

Аналізуються теоретичні і експериментальні аспекти завдання відтворення ФРО з рентгенографічного і електронномікроскопічного експериментів.

Приведено ймовірнісне обґрунтування одержання прямих полюсних фігур (ППФ) і зворотних полюсних фігур (ЗПФ) з початкових рентгенодифрактометричних даних і аналітичного зв'язку між ППФ, ЗПФ та ФРО.

Показано, що розрахунок ФРО методом ймовірності забезпечує, на відміну від методу Бунге-Рое, вірність значень ФРО і відсутність помилкових максимумів. Симетрія кубічних і гексагональних кристалів дозволяє використовувати для знаходження ФРО одну ППФ.

У випадку кубічної симетрії зручно використати ППФ (100), а у випадку гексагональної симетрії - ППФ (10 $\bar{1}$ 0).

З метою дослідження стійкості методу Бунге-Рое проводилось збурення первинних рентгенівських даних за допомогою датчика випадкових чисел в інтервалі статистичної помилки експерименту, визначеної попередньо.

Аналізуючи одержані результати і дані міжлабораторного

експерименту, проведеного в Інституті фізики металів Російської Академії Наук (Єкатеринбург), в Інституті проблем пластичності (Уфа), Інституті фізики твердого тіла (Черноголовка) зроблено висновок про задовільну стійкість методу Бунге-Рое і про те, що в разі не дуже гострих текстур він вірно відтворює координати максимумів, але не завжди вірно їх інтенсивність. Показано, що головною причиною від'ємних значень і псевдомакимумів ФРО, обчислених за методом Бунге-Рое, є обрізання ряду ФРО.

Для порівняльного аналізу можливостей методу Бунге-Рое і ймовірного методу досліджувались алюмінієві фольги, які мають гостру текстуру, одержаних беззлитковою прокаткою, листи сталі 12Х18Н10Т з багатокомпонентною текстурою і листи технічного титану ВТ1-0.

Додатково обраховувались ФРО заліза, які були представлені у вигляді суперпозицій Гаусових розподілень. Був зроблений висновок про переважність використання ймовірного методу для одержання ФРО у задачах текстурного аналізу при обмеженій кількості первинних рентгенівських даних.

Приведено рекомендації по оптимізації рентгенівського способу визначення ППФ і ЗПФ з метою одержання інформації про ФРО та властивості полікристалів. Показано, що алгоритм розрахунку інтегральної інтенсивності рефлексу при нахилі зразка по даним профіля лінії, визначених при початковому положенні зразка і геометричних параметрах зйомки, забезпечує достатню точність враховування ефекту дефокусування при скороченні часу дослідження порівняно з відомими методами.

У другому розділі розглянуті методи встановлення зв'язку між текстурою й орієнтаційною залежністю пружних властивостей

полікристалів. Розглянуті плити сплаву ВТ1-0 як модель матеріалу, а також промислові сплави системи Ti-Al-V, які використовуються для виготовлення контактів.

Анізотропія модуля Юнга (E) визначалась за результатами вимірювання зразків, вирізаних під кутами $\psi = 0, 15, 30, 45, 60, 75$ і 90 градусів відносно напрямку прокатки (НП).

Для вимірювання модуля Юнга використовувався динамічний метод за власною частотою поперечних коливань. Відносна похибка визначення склала 1%.

Для одержання аналітичної залежності $E(\psi)$ була використана зовнішня ортотропна симетрія листів, яка формується під час прямої прокатки. У цьому випадку функція, яку шукали, була представлена у вигляді наступного ряду Фур'є:

$$\frac{1}{E(\psi)} = A_0 + A_2 \cdot \cos 2\psi + A_4 \cdot \cos 4\psi \quad (1)$$

Коефіцієнти (A_0, A_2, A_4) визначались методом найменших квадратів за умови близькості експериментальних і розрахункових значень.

Знайдений аналітичний вигляд $E(\psi)$ дозволяє визначити E для довільного кута і екстремального значення E . Текстура листів титанових сплавів досліджувалась за допомогою ППФ, ЗПФ і ФРО.

Текстура листів сплавів системи Ti-Al-V, на відміну від сплаву ВТ1-0, є багатокомпонентною з максимумами полюсної густини як в НП, так і в поперечному напрямку (ПН). Для вихідних листів сплавів ПТ-3В, ПТ-3Вкт, одержаних за допомогою теплої поперечної прокатки, виявлений максимум під кутом 45° до НП на ППФ (0002). У процесі подальшої холодної прокатки даний максимум зникає у листах сплаву ПТ-3В і зберігається у листах сплаву

ПТ-ЗВкт. Вірогідність знайденої закономірності підтвердилась зйомкою окремих областей ППФ (0002) з шириною щілини лічильника 0,1мм для виключення накладання лінії (0002) з лінією (10 $\bar{1}$ 0). Для листів сплаву Ti-3Al-1,5V інтенсивність максимуму в ПН більше, ніж в НП для всіх степенів обжиму при холодній прокатці, окрім обжиму 40% по товщині, коли інтенсивність в НП і ПН приблизно однакова. З характеру текстури сплавів системи Ti-Al-V випливає, що орієнтація ефективною ідеальною орієнтовкою, яка має анізотропію властивостей, що співпадає з анізотропією властивостей в площині прокатки, повинні задаватись не тільки кутом $\alpha_{\text{вфф}}$, як у випадку нелегованого титану, а й кутом $\beta_{\text{вфф}}$, котрий дорівнює 0° або 90°.

Розроблено метод визначення параметрів ($\alpha_{\text{вфф}}, \beta_{\text{вфф}}$) із результатів вимірювання магнітної сприйнятливості (МС) в напрямку нормалі до площини листа (НН) і анізотропії $E(\theta)$ в площині прокатки, заснований на наступних співвідношеннях:

$$\chi_{\text{НН}} = \chi_1 + (\chi_3 - \chi_1) \cos^2 \alpha_{\text{вфф}}, \quad (2)$$

де χ_1, χ_3 - компоненти тензора МС кристалітів;

$$\frac{1}{E(\theta)} = (1 - \cos^2\theta)^2 \cdot S_{11} + \cos^4\theta \cdot S_{33} + (1 - \cos^2\theta) \cdot \cos^2\theta \cdot (2 S_{13} + S_{44}) \quad (3)$$

де S_{ik} - компоненти тензора податливості кристалітів;

θ - кут між гексагональною віссю і досліджуваним напрямком;

$$\cos \theta = \sin \alpha_{\text{вфф}} \cdot \cos (\beta - \alpha_{\text{вфф}}) \quad (4)$$

МС вимірювалась компенсаційним методом Фарадея з похибкою 1,9%. Із (2) знаходилось значення $\alpha_{\text{вфф}}$, із (3) - значення $\cos \theta$ і із (4) - значення $\beta_{\text{вфф}}$. Результати розрахунку по (2)-(4) були ви-

користані для обчислення орієнтаційної залежності модуля зсуву $E(\varphi)$, експериментальне визначення якої є досить трудомісткою операцією для листових матеріалів. Анізотропія модуля зсуву для всіх випробуваних листів виявилась монотонно убуваючою на інтервалі $[0^\circ, 90^\circ]$ за винятком листів сплаву $Ti-3Al-1,5V$, прокатаних з обжимом 60%, для яких встановлений проміжний максимум під кутом 30° до НП.

У третьому розділі розвивається метод розрахунку рентгенівських пружних модулів текстурованих полікристалів та викладаються результати дослідження залишкових напруг ряду кубічних і гексагональних матеріалів. Відомі два способи розрахунку властивостей полікристалів, які описані за допомогою тензора.

Перший спосіб полягає у безпосередньому інтегруванні орієнтаційної залежності даної властивості монокристалу з урахуванням розподілу кристалітів по орієнтаціях.

Другий спосіб, запропонований Бунге, який має ряд переваг, використовує зовнішню ортотропну симетрію полікристалу і полягає в попередньому обчисленні незалежних компонент тензора для даної властивості полікристалу усередненням по всіх орієнтаціях кристалітів з наступним визначенням анізотропії даної властивості у полікристалі на основі закону перетворення тензора відповідного рангу для випадку ортотропної симетрії.

У методах рентгенівської тензометрії текстурованих полікристалів, які розвинуті Доуле, Ван Хуттом та іншими дослідниками, рентгенівські пружні модулі обчислюються у відповідності до першого способу, а ФРО розраховується методом Бунге-Роє, тобто зовнішня симетрія зразка враховується, але у неявному вигляді.

В дисертації розвивається метод рентгенівської тензометрії, який у явному вигляді враховує зовнішню симетрію зразка. В цьому випадку із закону Гука випливає аналітична залежність між залишковою деформацією у напрямку (φ, ψ) , залишковими напруженнями σ_{11} та σ_{22} і рентгенівськими компонентами тензору піддатливості S_{ijkl}^T у знехтуванні нормальними до поверхні та зсувними компонентами

$$\begin{aligned} \epsilon(\varphi, \psi) = & [\sigma_{11} (S_{1111}^T \cdot \cos^2 \varphi + S_{1122}^T \cdot \sin^2 \varphi - S_{1133}^T) + \\ & \sigma_{22} (S_{2222}^T \cdot \sin^2 \varphi + S_{1122}^T \cdot \cos^2 \varphi - S_{2233}^T) + \quad (5) \\ & (\sigma_{11} \cdot S_{1133}^T + \sigma_{22} \cdot S_{2233}^T)] \end{aligned}$$

Легко можна показати, що у випадку відсутності текстури

$[S_{1111}^T = S_{2222}^T = \frac{1}{E}; S_{1122}^T = S_{1133}^T = S_{2233}^T = -\frac{\nu}{E}$ (ν - коефіцієнт Пуасона) співвідношення (5) переходить у відоме рівняння методу "sin²ψ". Якщо коректно наближення Фойгта, то значення S_{ijkl}^T можуть бути розраховані за допомогою інтегральних характеристик (IXГ):

а) кубічна симетрія кристалітів:

$$\begin{aligned} S_{1111}^T &= S_{12} + \frac{S_{44}}{2} + K I_1^k; \quad S_{2222}^T = S_{12} + \frac{S_{44}}{2} + K I_2^k; \\ S_{3333}^T &= S_{12} + \frac{S_{44}}{2} + K (I_1^k + I_2^k + 2I_3^k - 1); \\ S_{1122}^T &= S_{12} + K I_3^k; \quad S_{1133}^T = S_{12} + K (1 - I_1^k - I_3^k); \\ S_{2233}^T &= S_{12} + K (1 - I_2^k - I_3^k); \quad S_{1212}^T = \frac{S_{44}}{4} + K I_3^k; \\ S_{1313}^T &= \frac{S_{44}}{2} + K (1 - I_1^k - I_3^k); \quad S_{2323}^T = \frac{S_{44}}{4} + K (1 - I_2^k - I_3^k) \end{aligned}$$

де $K = S_{11} - S_{12} - \frac{S_{44}}{2}$;

$$I_1^k = \langle \alpha_{11}^4 + \alpha_{12}^4 + \alpha_{23}^4 \rangle; \quad I_2^k = \langle \alpha_{21}^4 + \alpha_{22}^4 + \alpha_{23}^4 \rangle;$$

$$I_3^k = \langle \alpha_{11}^2 \cdot \alpha_{21}^2 + \alpha_{12}^2 \cdot \alpha_{22}^2 + \alpha_{13}^2 \cdot \alpha_{23}^2 \rangle;$$

α_{1k} - напрямні косинуси вісей ПІ, ПН, НН у системі координат координат кристаліта;

$\langle \rangle$ означає усереднення з усіх орієнтацій кристалітів у полікристалі.

б) гексагональна симетрія кристалітів:

$$S_{1111}^T = S_{11} + a I_4^\Gamma + b I_1^\Gamma; \quad S_{2222}^T = S_{11} + a I_5^\Gamma + b I_2^\Gamma;$$

$$S_{3333}^T = S_{11} + a [1 + I_4^\Gamma + I_5^\Gamma - 2 I_6^\Gamma - 2 (I_1^\Gamma + I_2^\Gamma)] + b I_3^\Gamma;$$

$$S_{1122}^T = S_{12} + a I_6^\Gamma + (S_{13} - S_{12})(I_1^\Gamma + I_2^\Gamma);$$

$$S_{1133}^T = S_{12} + a (I_1^\Gamma - I_4^\Gamma - I_6^\Gamma) + (S_{13} - S_{12})(1 - I_2^\Gamma);$$

$$S_{2233}^T = S_{12} + a (I_1^\Gamma - I_5^\Gamma - I_6^\Gamma) + (S_{13} - S_{12})(1 - I_1^\Gamma);$$

$$S_{1212}^T = \frac{1}{2} (S_{11} - S_{12}) + a I_6^\Gamma + c (I_1^\Gamma + I_2^\Gamma); \quad (7)$$

$$S_{2323}^T = \frac{1}{2} (S_{11} - S_{12}) + a (I_1^\Gamma - I_5^\Gamma - I_6^\Gamma) + c (1 - I_1^\Gamma);$$

$$S_{1313}^T = \frac{1}{2} (S_{11} - S_{12}) + a (I_1^\Gamma - I_4^\Gamma - I_6^\Gamma) + c (1 - I_2^\Gamma);$$

$$a = S_{11} + S_{33} - 2 S_{13} - S_{44}; \quad c = \frac{1}{2} (S_{12} - S_{11} + \frac{1}{2} S_{44})$$

$$b = 2 (S_{13} - S_{13} + \frac{1}{2} S_{44}); \quad I_1^\Gamma = \langle \alpha_{13}^2 \rangle; \quad I_2^\Gamma = \langle \alpha_{23}^2 \rangle; \quad I_3^\Gamma = \langle \alpha_{33}^2 \rangle;$$

$$I_4^\Gamma = \langle \alpha_{13}^4 \rangle; \quad I_5^\Gamma = \langle \alpha_{23}^4 \rangle; \quad I_6^\Gamma = \langle \alpha_{13}^2 \cdot \alpha_{23}^2 \rangle;$$

α_{1j} - напрямні косинуси вісі "t" кристаліта у системі координат полікристаліта.

З (5)-(7) видно, що при використанні наближення Ройса відхилення від лінійного закону " $\sin^2\psi$ " не має місця навіть при врахуванні текстури, хоч обумовлену текстурою анізотропію в пружних модулях необхідно врахувати при проведенні рентгенівської тензометрії.

Так, для листів титану ВТ1-0, які прокатані з обжимом 80%, має місце лінійна залежність $\epsilon = \epsilon(\sin^2\psi)$ та при врахуванні текстури. З (5) сума $(\sigma_{11} + \sigma_{22})$ склала $7,71 \cdot 10^8$ Па, а без вра-

хування текстури - $17,10 \cdot 10^{13}$ Па.

При коректності наближення Ройса компоненти $S_{ijk_1}^T$ у (6) залежать від вибору рефлексу (hkl), який використовується, та напрямку вимірювання (φ_0, ψ_0) і стає очевидною полілінійність залежності $\epsilon = \epsilon(\sin^2 \psi)$.

Розрахунок $S_{ijk_1}^T$ і в цьому випадку може бути проведений також з IXТ, однак при обчисленні IXТ тепер повинні враховуватися не всі кристаліти, а лише ті, що мають нормаль до площини (hkl), яка співпадає з досліджуваним напрямком.

Відповідні умови мають наступний математичний вираз:

а) для гексагональної симетрії при розрахунку IXТ із ППФ (0002):

$$\cos \psi \cdot \cos \varphi_0 + \sin \psi \cdot \sin \varphi_2 \cdot \overset{\nearrow \searrow}{\cos(\psi - \varphi_0)} = \cos(h \ l) \quad (8)$$

б) для кубічної симетрії при розрахунку IXТ з ППФ (100):

$$\begin{cases} \alpha_{11} \cdot \gamma_{11} + \alpha_{12} \cdot \gamma_{21} + \alpha_{13} \cdot \gamma_{31} = \frac{n}{\sqrt{h^2 + n^2 + l^2}} \\ \alpha_{21} \cdot \gamma_{11} + \alpha_{22} \cdot \gamma_{22} + \alpha_{23} \cdot \gamma_{31} = \frac{k}{\sqrt{h^2 + n^2 + l^2}} \\ \alpha_{31} \cdot \gamma_{11} + \alpha_{32} \cdot \gamma_{22} + \alpha_{33} \cdot \gamma_{33} = \frac{l}{\sqrt{h^2 + n^2 + l^2}} \end{cases} \quad (9)$$

де $\gamma_{11} = \sin \psi_0 \cdot \cos \varphi_0$; $\gamma_{22} = \sin \psi_0 \cdot \sin \varphi_0$; $\alpha_{23} = \cos \psi_0$.

У наближенні Ройса проведений розрахунок рентгенівських пружних модулів прокатаних листів сплавів Ti-3Al-1,5V, ПТ-3Вкт, ПТ-3В та тонких плівок Ti-N, одержаних іоно-плазмовим напилюванням.

З результатів розрахунку IXТ та рентгенівських пружних модулів була встановлена нелінійність залежності $\epsilon = \epsilon(\sin^2 \psi)$, виявлена експериментально (табл.1,2).

Таблиця 1.

Вихідні листи сплаву ПВ-3В рефлекс (10Т5)	I_1^Γ	I_2^Γ	I_6^Γ	S_{1111}^T 10^{-11} Па ⁻¹	S_{1122}^T 10^{-11} Па ⁻¹	S_{1133}^T 10^{-11} Па ⁻¹	
$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	0,0472	0,3718	0,0156	1,0066	-0,1714	-0,2580
	$\varphi = 30^\circ$	0,0282	0,3105	0,0102	1,0315	-0,2090	-0,2405
	$\varphi = 45^\circ$	0,0301	0,1365	0,0064	1,0261	-0,1965	-0,2481
$\varphi = 90^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	0,3292	0,1505	0,0419	0,6664	-0,1701	-0,0104
	$\varphi = 30^\circ$	0,2656	0,0494	0,0174	0,7266	-0,1940	-0,0110
	$\varphi = 45^\circ$	0,0956	0,0281	0,0051	0,9334	-0,1930	-0,1743

Таблиця 2.

Тонкі плівки Ti-N рефлекс (112)	I_1^Γ	I_2^Γ	I_3^Γ	S_{1111}^T 10^{-11} Па ⁻¹	S_{1122}^T 10^{-11} Па ⁻¹	S_{1133}^T 10^{-11} Па ⁻¹
$\varphi = 0^\circ$	0,0002	0,0002	0,0001	2,439	-0,357	-0,357
$\varphi = 30^\circ$	0,0282	0,3105	0,0102	2,269	-0,431	-0,431
$\varphi = 45^\circ$	0,0301	0,1365	0,0064	2,259	-0,445	-0,445

У четвертому розділі методи дослідження текстурованих матеріалів застосовуються для дослідження структурних характеристик полікристалічних шарів сульфідів свинцю.

Розглянута структура та хімічний склад PbS шарів, які формуються при різних технологіях, а також їх вплив на електрофізичні параметри фоторезисторів.

Проведений огляд механізмів фотопровідності PbS шарів. Показано, що їх особливості суттєво визначаються процесами окислення.

Розглянуті механізми фотопровідності, які припускають:

- а) звичайний зріст концентрації носіїв при освітлюванні;

б) зміну опору в результаті зменшення висоти потенціальних бар'єрів при освітлюванні;

в) наявність в прошарках між кристалітами n-типу провідності акцепторних станів, які захоплюють електрони із об'єму. Особливу увагу приділено низькочастотним шумам у PbS шарах у зв'язку з задачею надійності та підвищення виявляючої здібності приладу.

Розглянуті теоретичні та експериментальні дослідження про зв'язок низькочастотного шуму з процесами, які протікають як у об'ємі, так і на поверхні напівпровідників.

Обговорена залежність низькочастотного шуму від густини дислокацій, кордонів зерен, якості контактів флуктуацій рухливості.

Розглянуті модель Мак-Уорнера, модель Херта, острівна модель флуктуацій та інші. Розглянуті методи вимірювання шумових та фотоелектричних характеристик PbS фоторезисторів. Частотна залежність спектральної густини шуму одержували шляхом обробки експериментальних даних на ЕОМ. Була створена схема пристрою для дослідження шумових та фотоелектричних параметрів PbS шарів.

Спектр шумів вимірювався в інтервалі частот 20Гц-20кГц при різних температурах в різноманітних газових середовищах, а також при дії ультразвуку та іонізуючих випромінювань.

Експериментальні значення шумового напруження вводились у пам'ять ЕОМ і далі розраховувався шумовий спектр. Також був створений прилад для одночасного вимірювання зондових характеристик рівня шуму, земного опору та струмової анізотропії шуму.

Для дослідження впливу кристалографічної текстури та напружено-деформованого стану на фоточутливі властивості полікриста-

лічних плівок PbS розглядалися фізичні шари із однієї технологічної партії, що забезпечувало близькість топологій досліджуваних плівок. Дійсно, спеціальними вимірваннями встановлена ідентичність розподілу зерен за розмірами у вказаних плівках. Властивості PbS плівок симетричні відносно вісі, нормальної до поверхні.

Це дозволяє вважати кристалографічну текстуру аксіальною та використовувати для її опису ЗПФ. Рентгенівські дослідження здійснювалися у Cu-K випромінюванні на рентгенівському дифрактометрі "ДРОН-3М", а значення ЗПФ розраховувалися методом Морриса. Характер розподілу текстурних максимумів на ЗПФ показує, що структурний стан плівок PbS є проміжним між безтекстурним та монокристалічним. Переважною текстурною компонентною виявилася компонента (200) - частка зерен з кристалографічною густиною (200) (r_{200}), яка співпадає з площиною плівки, склала 30-40% від загального числа зерен.

З підсиленням текстурної компоненти (200) (r_{200}) значення темнового опору зменшується, а особливо різкий спад темнового опору починається при підвищенні r_{200} до 38%. Величина напруги шуму залежить від r_{200} , немонотонно - з максимумом у інтервалі 35-37%. Таким чином, наявність структурної компоненти r_{200} в межах 37-38% відповідає найгіршим параметрам PbS плівок, а оптимальні параметри PbS плівок виявляються при умові $r_{200} \leq 32\%$.

Основне рівняння рентгенівської тензометрії (5) для тонких плівок з аксіальною текстурою може бути записано у вигляді:

$$\sigma = \frac{\epsilon_{33}}{2S_{1122}^*} \quad (9)$$

де σ - величина залишкової напруги в PbS плівках: $\sigma = \sigma_{11} = \sigma_{22}$.

Залишкова деформація ϵ_{33} вимірювалась у напрямку НН рентгенівським способом за зміною міжплощинної відстані досліджуваних плівок відносно напруженого стану для кристалографічної площини (333).

Значення рентгенівської пружної сталої S_{1122}^* розраховувалося через механічну пружну сталу S_{1133}^* з урахуванням частки ваги r_{333} , визначеної з ЗПФ. Була знайдена кореляція між рівнем фліккер-шуму та темнового опору з одного боку, та рентгенівськими пружними характеристиками, залишковими деформаціями та пластичними напругами - з іншого.

Мінімальний рівень шуму та максимальне значення темнового опору досягається при механічній напрузі стиску 7,8 МПа. Таким чином, при нанесенні фізичних шарів на підкладку задача полягає не в повному зніманні механічних напружень у системі плівка-підкладка, а у доведенні їх до певної величини.

ВИСНОВКИ.

1. Розроблено систему методів для дослідження важливих механічних характеристик металічних контактів для шарів PbS, які складають основу PbS-фоторезисторів.

2. Ймовірносний метод відновлення ФРО має перевагу перед методом Бунге-Рое в практичних задачах текстурного аналізу.

3. Куткові координати ефективної ідеальної орієнтації, які описують багатокомпонентну текстуру листів сплавів системи Ti-Al-V, можуть бути знайдені з даних по анізотропії модуля Юнга в площині прокатки та магнітної сприйнятливості напрямку, нормальної до цієї площини.

4. Точність визначення залишкових макронапруг істотно підвищується шляхом використання ймовірнісного методу визначення ФРО та використання ІХТ.

5. Вперше встановлено, що фотоелектричні параметри PbS плівок залежать не тільки від розмірів зерен і стану ланаркітної фази, але і від кристалічної текстури плівок.

6. Показано, що при нанесенні фізичних шарів на підкладку задача полягає не у повному усуненні механічних напружень у системі плівка-підкладка, а у одержанні їх певної оптимальної величини.

Основний зміст дисертації опублікований у наступних роботах:

1. А.А.Брюханов, А.Р.Гохман, Н.А.Царенко. АС N1245971 "Способ контроля гексагональных текстур листовых материалов", 1984.

2. А.А.Брюханов, А.Р.Гохман, Н.А.Царенко. Контакты монокристаллов анизотропии упругих и электрических свойств, коэффициент текстурного упрочнения листов сплава ПТ-3Вкт //Пятая Всесоюзная конференция по текстурам и рекристаллизации в металлах и сплавах: Тез. докл. - Уфа, 1987. - С.178.

3. А.А.Брюханов, А.Р.Гохман, Н.А.Царенко. Влияние холодной прокатки на ориентационную зависимость свойств и параметры текстуры листов сплава ПТ-3В //Металлофизика. - 1988. - Т.10. - N4. - С.132. Деп. в ВИНТИ, 13.04.1988.

4. А.А.Брюханов, А.Р.Гохман, И.Г.Захарченко, Н.А.Царенко. Влияние способа прокатки на упрочнение изделий сплава ВТ-6С //Семинар "Усовершенствование и развитие новых ресурсосберегающих технологий в промышленности, сварочном производстве и

строительстве" /Тез. докл. - Минск, 1991. - С.134.

5. А.Р.Гохман, Ю.Г.Михайликовский, Н.А.Царенко К описанию текстуры листов сплавов системы Ti-Al-V //Заводская лаборатория. - 1994. - Т.60. - №3. - С.16-21.

6. А.Р.Гохман, Н.А.Царенко, Л.И.Резник, Л.А.Бунин, Ю.А.Скачков. Текстура и свойства поли- и монокристаллов сплава Fe-Cr-Al //Известия высших учебных заведений. Серия "Черная металлургия". - 1994. - №5. - С.69-72.

7. А.Р.Гохман, А.А.Брюханов, И.Г.Захарченко, Л.И.Резник, Н.А.Царенко. Количественный фазовый анализ текстурированных $(\alpha+\beta)$ -сплавов титана и $(\alpha+\beta)$ -сплавов железа //3-я международная научно-техническая конференция /Тез. докл. - Москва, 1984. - С.25.

8. А.Р.Гохман, Н.А.Царенко. Влияние остаточных макронапряжений на физические свойства кристаллов в листах сплава Fe-Cr-Al //3-я Международная конференция "Физика прочности и пластичности металлов и сплавов /Тез. докл. - Барнаул, 1994. - 101 с.

9. A.R.Gokhman, L.I.Reznik, N.A.Tsarenko /Termination of the textured titanium sheets young voids //MTNS Annual Meeting and Exhibition. 16-16 February 1995. - Las-Vegas. - Nevada, USA. - P.153.

10. A.R.Gokhman, N.A.Tsarenko. Effect of Mikrostructure on the plastic properties of Ti-3Al-1,5V alloy //International symposium Advanced Material and Technology for 21-st Century, 117 Meeting, Honolulu, 1995, 12-15 December. - p.93.

11. A.R.Gokhman, L.I.Reznik, N.A.Tsarenko. Determination of the textured titanium sheets Young's modulus //Light Weight

Alloys for Aerospace Applications III Edited by E.W.Lee, N.S.Kim, K.V.Sata and W.E.Frousier. The Minerals, Metals and Materials Society, 1995. - P.423-431.

АННОТАЦИЯ.

Н.А.Царенко "Напряженно-деформированные состояния в PbS-фоторезисторах".

Диссертация является рукописью, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.20 - Оптоэлектронные системы.

Определено влияние напряженно-деформированных состояний на параметры PbS-фоторезисторов. Разработан метод исследований остаточных макронапряжений в тонких покрытиях с учетом их текстуры. Исследованы закономерности текстурообразования и формирования анизотропии физических свойств металлов и сплавов, использующихся в качестве контактов. Впервые установлено, что фотоэлектрические свойства PbS-пленок зависят не только от размеров зерен и состояния ланаркитной фазы, но и от кристаллической текстуры пленок. Показано, что при нанесении физических слоев на подложку основная задача заключается не в полном снятии механических напряжений, а в доведении их до определенной оптимальной величины.

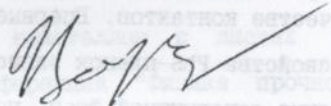
ANNOTATION.

Tharenko N.A. Thesis with topic stress-strain states in PbS-photoresistors.

Stress-strain states effect on the parameters of PbS photoresistors has been determined. The method to investigate

residual macrostresses in this accounting of texture has been elaborated. The regularities of texture formation and physical properties anisotropy in metals and alloys, that be used as contacts in coatings, have been found.

It's established for the first time that the photoelectric parameters of PbS-films depend not on the grains size and state of lanarkite phase only but on the films crystallographic texture too. It's found that immediately applying of physical layers on the base-layer a problem isn't to take off fully the mechanical stresses in the film-base-layer system but to load their to the optimum value.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'N. G. ...', is written over the bottom portion of the typed text.

AB 35.475