

Загальні відомості про будову речовини

1. Основні типи хімічного зв'язку

Речовина — це окремий вид матерії, що має визначений склад і властивості. Ознаки, за якими різні речовини відрізняються одна від одної, називаються *властивостями*.

При виробництві радіоелектронної апаратури використовують електрорадіоматеріали, що мають різноманітні властивості. Саме завдяки цим властивостям в елементах радіоапаратури відбуваються такі процеси як передача, випрямлення або модуляція електричного струму, генерація, перетворення електричних сигналів у звукові або світлові тощо. Це дозволяє виготовляти різні за функціональним призначенням і конструктивним виконанням вироби — численні напівпровідникові прилади, підсилювачі, стабілізатори, лазери та мазери, приймачі світла, рідкі кристали, феритні пристрої, апаратуру голографії та багато інших елементів, апаратів і приладів у радіоелектронній промисловості. Властивості електрорадіоматеріалів і прояви їх відмінностей залежать від будови речовини.

Зв'язки, завдяки яким атоми об'єднуються в молекули, називаються *хімічними*. Здатність атомів вступати в сполуки з іншими речовинами та утворювати молекули визначає хімічні властивості речовини. Хімічні зв'язки між атомами речовини поділяють на ковалентні (атомні), іонні, металічні та молекулярні. Хімічний зв'язок, який виникає в результаті утворення спільних (зв'язуючих) електронних пар, називається *ковалентним*.

Ковалентний зв'язок утворюється при взаємодії атомів з однаковою електронегативністю. В цьому випадку через однакову електронегативність елементів один атом не може віддати, а другий приєднати електрони. Валентні електрони будуть перебувати на однаковій відстані від ядер обох атомів. При цьому утворюються спільні електронні пари, які зв'язують атоми.

Хімічний зв'язок, який виникає між іонами в результаті дії електростатичних сил притягання, називається *іонним* зв'язком. Цей тип зв'язку утворюється, при взаємодії атомів елементів, електронегативності яких різко відрізняються. При цьому відбувається майже повне заміщення електронів (електронних пар) від атомів з меншою електронегативністю до атомів з більшою електронегативністю.

Іонні зв'язки зумовлені силами електростатичного притягання між позитивними і негативними іонами.

Іонні зв'язки менш стійкі, ніж ковалентні, тому сполуки, утворені іонним зв'язком, поступаються речовинам з ковалентним зв'язком щодо механічної міцності та хімічної стійкості.

Металічні зв'язки утворюються в металах і зумовлені особливостями поведінки зовнішніх (валентних) електронів. Атоми металів здатні віддавати зовнішні (валентні) електрони, перетворюючись у позитивний іон, або приєднувати їх і знову перетворюватись в нейтральний атом. Зовнішні електрони, які залишають атоми і стають вільними, називаються *колективізованими*. Тобто метал являє собою систему, що складається з позитивних іонів, які знаходяться в середовищі колективізованих електронів. У цій системі водночас виникає притягання між іонами і вільними електронами та ковалентний зв'язок між нейтральними молекулами. Металічний зв'язок на відміну від ковалентного не має направленого характеру, що надає металам високої пластичності.

Молекулярні зв'язки утворюються між окремими молекулами в результаті притягання між зарядами протилежних знаків, які є в молекулах. Таке електростатичне притягання називають *силами Ван-дер-Ваальса*. За допомогою таких сил утворюються молекули в твердому водні, азоті, вуглекислому газі та інших органічних сполуках — поліетилені, фторопласті та ін.

2. Властивості речовин у різних агрегатних станах

Залежно від умов навколишнього середовища і в першу чергу від температури, тиску хімічні речовини можуть бути у різних агрегатних станах, які відрізняються величиною і природою сил, діючих між собою частинок, а також характером руху самих частинок. Розрізняють газоподібний, рідкий, твердий і плазмовий стан речовини.

Між агрегатними станами різких меж немає. Можливе існування перехідних агрегатних станів.

Газоподібний стан речовини. В газоподібному стані речовина заповнює весь об'єм і приймає форму посудини, може стискуватись і утворювати однорідні суміші. Ці властивості

газів зумовлені тим, що їх окремі молекули знаходяться на порівняно великій відстані одна від одної. Отже, вони не мають значного взаємного впливу.

Енергія взаємодії молекул у цьому стані мінімальна, а кінетична енергія максимальна. Молекули в газах рухаються хаотично. Головним видом руху молекул газу є поступальний рух, при якому вони зазнають значної кількості співударів.

Рідкий стан речовини. У рідині молекули знаходяться значно ближче одна від одної, ніж у газах. Відносно одна одної вони утримуються силами міжмолекулярної взаємодії. Рідини здатні приймати форми тієї частини посуду, яку вони займають. Тому що молекули в них вільно переміщуються відносно одна одної. На відміну від газів рідини характеризуються незначним стисненням.

Рідкі кристали. Відомо багато речовин, які в рідкому стані володіють анізотропністю, тобто залежністю властивостей від напрямку. Такі речовини називають рідкими кристалами. Своєрідність структури рідких кристалів проявляються в тому, що частинки, які їх утворюють, можуть вільно переміщуватись одна відносно другій. При цьому їх орієнтація зберігається. Частинка або розміщуються таким чином, що їх осі орієнтовані в одному напрямку або в паралельних шарах, в середині яких рух частинок розупорядковуваний. Рідкі кристали широко використовуються в кольорових дисплеях буквено-цифрових індикаторів та інших пристроях запису і зберігання інформації.

Плазмовий стан речовини. При нагріванні розріджених газоподібних систем до високих температур, що перевищують десятки тисяч градусів, виникає іонізація молекул і газ переходить у специфічний стан з електронно-іонною провідністю, що називається плазмовим станом. Кінетична та потенціальна енергія частинок у плазмовому стані перевищує аналогічні параметри газоподібних молекул.

Основними дефектами кристалічних ґраток є точкові, лінійні, поверхневі та об'ємні (тривимірні) недосконалості.

Точкові недосконалості з'являються як результат утворення вакансій (атомних дірок) або проникнення атомів у міжвузля.

Атоми, що вийшли з вузла ґраток, називаються *дислокованими*, а місця, де знаходились атоми, залишаються у ґраток незаповненими і називаються *вакансіями*.

Причинами точкових недосконалостей слугують умови кристалізації, наявність домішок у металах та сплавах, нерівномірний розподіл енергії між атомами кристалічних ґраток.

Точкові дефекти впливають на дифузійні процеси. Наприклад, при виготовленні напівпровідникових інтегральних схем нагрівання до температури плавлення збільшує вакансії на 2 %.

Лінійні недосконалості — це зміни структури, протяжність яких в одному напрямку значно більша, ніж у двох інших напрямках. Такі недосконалості називаються *дислокаціями*.

Поверхневі недосконалості характеризуються значними змінами в двох напрямках. Прикладом поверхневої недосконалості є межа між кристалами в реальних сплавах.

Об'ємні недосконалості кристала мають суттєві розміри у всіх трьох вимірах. До об'ємних дефектів відносять порожнечу, вкраплення окремих кристалічних зерен або кристалічної модифікації.

3. Атомно-кристалічна будова металів

У техніці під металами розуміють як технічно чисті метали, так і їхні сплави.

Застосування металів потребує знання їхніх механічних, фізичних і технологічних властивостей. Вони залежать не тільки від складу металевих матеріалів, а й від їхньої будови (структури). Тому, змінюючи будову металів термічною або механічною обробкою, можна значно змінити і їхні властивості.

Метали — один з класів конструкційних матеріалів, що характеризується певним комплексом властивостей:

- металевий блиск (добра відбивна здатність);
- пластичність;
- висока теплопровідність;
- висока електропровідність.

Всі метали, що тверднуть в нормальних умовах, являють собою кристалічні речовини, тобто розташування атомів в них характеризується певним порядком — періодичністю, як за

різними напрямками, так і за різними площинами. Цей порядок визначається поняттям **кристалічні решітки**.

Іншими словами, кристалічні ґрати – це уявні просторові ґрати, у вузлах яких розташовуються частинки, які утворюють тверде тіло.

Усі метали в твердому стані мають кристалічну будову. Розташування атомів (іонів) у кристалічній речовині звичайно зображають у вигляді елементарної комірки, яка є найменшим комплексом атомів. Багаторазове повторювання її відображає розташування атомів в об'ємі всієї речовини, тобто її кристалічну решітку.

Найхарактернішими для металів є три типи кристалічних комірок:

- об'ємцентрована кубічна (ОЦК) з розміщенням атомів у вершинах і одного атома у центрі об'єму куба;
- гранецентрована кубічна (ГЦК) з розміщенням атомів у вершинах і в центрі кожної грані куба;
- гексагональна щільноупакована (ГЦУ) з розміщенням атомів у вершинах і в центрі шестикутних основ призми і трьох атомів усередині призми.

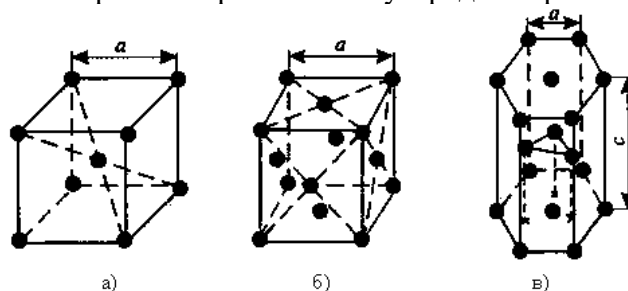


Рис. 2.1. Основні типи кристалічних ґраток:
а – ОЦК; б – ГЦК; в - ГЦУ

У системі ОЦК, наприклад, кристалізуються Fe, Nb, Cr, Mo, W; у системі ГЦК - Cu, Ni, Pb, Ag; у системі ГЦУ - Mg, Zn, Ti, Cd та ін.

Відомо 4 основних типи міжатомних зв'язків:

- металічний – характеризується тим, що при зближенні атомів валентні електрони втрачають приналежність до окремих атомів і стають загальними, утворюючи так званий “електронний газ”. Зв'язок в цьому випадку визначається електростатичним притяганням між позитивно зарядженим іонним скелетом і негативно зарядженим електронним газом;

- іонний зв'язок проявляється у випадку так званих іонних кристалів (хімічні з'єднання типу NaCl, KBr). В цьому випадку утворення зв'язку відбувається шляхом передачі атома одного елемента свого валентного електрона атому іншого елемента. Перехід електрона від одного елемента до іншого призводить до утворення позитивного і негативного іонів, які притягаються один до одного електростатично;

- ковалентний зв'язок частіше проявляється при утворенні молекул з атомів одного елемента (н-д, H₂, Cl₂, O₂). Цей тип зв'язку проявляється шляхом об'єднання валентних електронів двох атомів, які переходять на загальну орбіту;

- міжмолекулярний (ван-дер-ваальсний) зв'язок відбувається між нейтральними молекулами. Сили притягання і відштовхування в цьому випадку також мають електромагнітну і квантову природу. Дія сил Ван-дер-Ваальса доволі слабка, тому молекулярні з'єднання мають низьку температуру плавлення.

4. Анізотропія. Дефекти кристалічної будови

У різних кристалографічних площинах, проведених через центри атомів у кристалічних решітках, число атомів і відстані між ними неоднакові. У зв'язку з цим властивості монокристалів у різних напрямках неоднакові. Таке явище називається **анізотропією**.

Анізотропія виявляється в неоднаковості опорів монокристала електричного струму і швидкості розчинення в хімічних реактивах, у відмінності механічних властивостей. Наприклад, міцність зразків, вирізаних у різних напрямках з монокристала міді, відрізняється приблизно в 3 рази, а пластичність - більше ніж у 5 разів.

Реальні метали є тілами полікристалічними, тобто складаються з великої кількості по-різному орієнтованих у просторі кристалів (зерен). Тому властивості таких металів у будь-якому напрямі усереднені, однакові. Проте в тих випадках, коли обробка металів сприяє

переважному орієнтуванню окремих кристалів (наприклад, при прокатуванні, куванні), полікристалічні метали стають також анізотропними. Так, міцність зразків, вирізаних з листа вздовж і впоперек напрямку прокатування, різна; температурний коефіцієнт лінійного розширення листа з цинку залежно від напрямку прокатування може відрізнятись в 1,5...2 рази.

Кристалічна будова, яку було описано вище, є ідеальною. Насправді ж вона має багато дефектів - точкових, лінійних і поверхневих.

Точкові дефекти (рис. 2.2, *a*) характеризуються малим розміром у всіх трьох вимірах. До цих дефектів належать вакансії - вільні вузли 1 у кристалічній решітці, атоми 2, зміщені в простір між вузлами, і атоми 3 домішок.

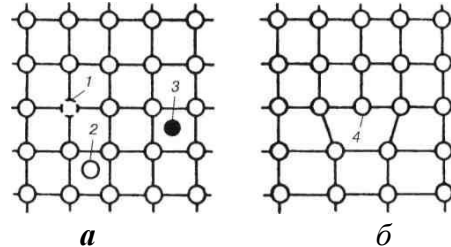


Рис. 2.2. Дефекти кристалічної будови металів

Лінійні дефекти мають малий розмір тільки в двох вимірах. Основний вид цих дефектів - це дислокації. На рис. 2.2, *б* подано так звану крайову дислокацію 4, яка становить край “зайвої” кристалографічної півплощини. При іншому характері зміщення атомів може утворитися складніша дислокація – гвинтова. Дислокації утворюються в процесі твердіння і особливо при деформації металу.

Поверхневі дефекти характеризуються малим розміром тільки в одному напрямі. Звичайно вони утворюються на границях зерен, на вільних поверхнях тощо.

Дефекти кристалічної будови, зокрема дислокації, відіграють велику роль у пластичній деформації, зумовлюючи значні зміни у властивостях металів. Точкові дефекти виявляються більше в процесах, пов'язаних із переміщенням (дифузією) атомів.

5. Модель кристалізації полікристалічного металу за Миркіним

Ще у 1878 р. Дмитро Константинович Чернов визначив, що процес кристалізації складається з двох стадій:

- зародження центрів кристалізації;
- ріст центрів кристалізації.

Перша стадія при кристалізації металів відбувається досить швидко. Тверді мікрооб'єми рідкого металу при переохолодженні набувають стабільності та здатності до росту. Тобто центрами кристалізації називають такі кристалічні об'єми рідкого металу, які здатні рости. Подальший ріст таких центрів відносять до другої стадії процесу кристалізації, яка є більш тривалішою.

При розгляді механізму кристалізації промислових металів слід мати на увазі, що виникнення центрів кристалізації відбувається довільно: під різними кутами орієнтації атомних шарів і т.д. Тому для уявлення процесу розглянемо модель кристалізації за Миркіним: різна просторова орієнтація зародків кристалів призводить до того, що при своєму розростанні вони стикаються один з одним, втрачають правильну форму і стають окремими частинами твердого металу. При цьому утворюються границі між твердими кристалами (частинами) довільної форми. Такі кристали називають **кристалітами**, або зернами, а границі між ними – границями зерен.

Сукупність окремих частин твердого металу, їх форма, розміри та характер розташування називається **структурою металів**. Структура промислових металів є полікристалічною чи полізернистою, оскільки такі метали складаються з великої кількості зерен. Вивчають структуру металів за допомогою металографічних мікроскопів. За визначеною структурою матеріалів чітко можна встановити більшість властивостей та придатність матеріалу до виготовлення тих чи інших виробів

6. Самовільна та не самовільна кристалізація. Модифікування. Поліморфні перетворення в металах

Самовільною кристалізацією називають затвердіння високочистого металу при значному ступені переохолодження.

Існуючі в металах технічної чистоти домішки відіграють роль готових центрів кристалізації або сприяють підвищенню числа зародків. Такі метали і особливо сплави кристалізуються несамовільно. Надлишок центрів кристалізації сприяє утворенню дрібнозернистої структури.

Таким чином, для підвищення дрібнозернистості промислових металів та сплавів в них свідомо додають спеціальні домішки – **модифікатори**. Процес вводу модифікаторів у рідкий метал називають **модифікуванням**. Розрізняють модифікатори першого та другого роду.

Модифікатори I-го роду – це дрібні тугоплавкі частинки (карбіди, нітриди, оксиди). **Модифікатори II-го роду** - це поверхнево активні елементи (бор, магній).

Багато металів можуть змінювати свою кристалічну решітку залежно від умов і в першу чергу від температури. Це явище називають **поліморфізмом** (алотропізмом).

Температура, при якій метал змінює (перебудовує) свою кристалічну решітку називається **температурою поліморфного перетворення**.

Деякі метали при нагріванні втрачають магнітні властивості. Повна втрата феромагнітних властивостей називається **магнітним перетворенням**.

7. Будова металічного зливка

Кристаліти або зерна, які утворюються в процесі затвердіння зливоків або деталей, мають деревоподібну форму (рис. 2.3). Таку форму зерен називають **дендритною**, а сам кристал **дендритом**.



Рис. 2.3. Схема дендриту

Напрямок росту дендритів залежить від характеру відводу тепла. Дендрит зароджується біля найбільш переохолоджених місць рідкого металу і росте в напрямку, протилежному напрямку відводу тепла. Це зумовлює певну будову зливка (рис.2.4).

При кристалізації металічного зливка рідкий метал контактує з холодними стінками виливниці. Це викликає утворення трьох зон зливка, поява яких зумовлена різним ступенем переохолодження в різних зонах рідкого металу.

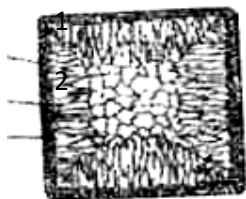


Рис. 2.4. Будова металічного зливка

Зона 1 – коркова зона дрібних рівноосних кристалів. Утворюється при дуже значному переохолодженні.

Зона 2 – зона подовгастих (стовпчастих) кристалів. Процес росту кристалів (дендритів) залежить від напрямку відводу тепла: стовпчасті дендрити ростуть нормально до поверхні виливниці в глибину рідкого металу.

Зона 3 – зона великих рівноосних кристалів. Утворюється в наслідок незначного відводу тепла.

8. Властивості матеріалів

Матеріали володіють певним набором властивостей. Розрізняють фізичні, хімічні, механічні, технологічні та експлуатаційні властивості матеріалів, які зумовлюють їх застосування в тій чи іншій галузі промисловості.

До основних **фізичним** властивостям відносяться щільність, електро- і теплопровідність, намагніченість, температура плавлення, температурні коефіцієнти лінійного і об'ємного розширення та ін.

До **механічних** властивостей матеріалу відносяться міцність, пластичність, твердість, повзучість, ударна в'язкість, втома, зносостійкість.

Міцність - здатність твердого тіла пручатися деформації або руйнуванню під дією статичних або динамічних навантажень.

Твердість - здатність матеріалу чинити опір впровадженню в нього іншого, який не одержує залишкової деформації, тіла.

Пластичність - здатність матеріалу отримувати залишкове (залишається після видалення навантаження) зміна форми і розмірів без руйнування. Характеристикою пластичності є відносне подовження і звуження випробуваного зразка.

Ударна в'язкість - це міцність при динамічних навантаженнях, Дж / м²:

$$K_C = \frac{A}{F}$$

де А - робота, витрачена на руйнування зразка; F - площа зразка в місці надрізу.

Повзучість - властивість матеріалу повільно деформуватися під дією постійно розтягує навантаження, яка створює напругу нижче межі пружності даного матеріалу.

Втома матеріалу - властивість поступового накопичення пошкоджень в матеріалі під дією циклічних навантажень, що призводять до утворення тріщин і руйнування. Властивість матеріалів опиратися втоми називається **витривалість** опором втоми). Опір втоми характеризується межею витривалості.

Межа витривалості це найбільше напруження, яке матеріал може витримати без ознак руйнування після заданого числа нагружений знакозмінним вигином або іншим видом деформації при закріпленні випробуваного зразка одним кінцем.

Одним з показників опору втоми є **живучість** під якою розуміють довговічність деталі від моменту зародження перших макроскопічної тріщини втоми розміром 0,5-1,0 мм до остаточного руйнування.

Технологічні властивості характеризуються здатністю матеріалу здобувати задану форму під дією різних факторів (температури, тиску та ін.), Піддаватися механічній обробці, з'єднуватися різними методами (зварюванням, склеюванням) і т.д. Звідси впливає, що вони мають важливе значення при виборі способу виготовлення деталей, так як повинні забезпечити можливо меншу трудомісткість конструкцій.

До технологічних властивостей матеріалів відносяться ливарні властивості (жидкотекучість, усадка, схильність до ліквіації), деформованість, зварюваність і оброблюваність ріжучим інструментом.

Вологотекучість здатність розплавленого матеріалу заповнювати ливарну форму.

Усадка - зменшення лінійних розмірів (обсягу) залитого в форму матеріалу в процесі охолодження виливки.

Ліквіація - сегрегація, неоднорідність хімічного складу сплаву, що виникає при його кристалізації.

Зварюваність - здатність матеріалу давати міцне нероз'ємне з'єднання при нагріванні зварювальних кромки до температури плавлення або сказу і додатки певного тиску (ударів або стиснення).

Деформованість (ковкість) - здатність матеріалу приймати необхідну форму під дією зовнішнього навантаження без руйнування і при найменшому опорі.

Прожарюваність - здатність металу сприймати загартування на деяку глибину від поверхні.

Оброблюваність - здатність матеріалу піддаватися обробці різанням. Критеріями оброблюваності є режими різання і якість поверхневого шару.

До експлуатаційних відносяться властивості матеріалу, що безпосередньо впливають на показники, що характеризують цільове призначення виробу.

Корозійна стійкість - опір матеріалу дії агресивних середовищ (кислотних, лужних і т.п.).

Холодостійкість - здатність матеріалу зберігати необхідні пластичні властивості при низьких робочих температурах.

Жароміцність - здатність матеріалу зберігати необхідні механічні властивості при високих робочих температурах.

Жаростійкість - здатність матеріалу чинити опір окисленню в газовому середовищі при високих температурах.

Антифрикційність здатність матеріалу прірабативала по трукться до іншого матеріалу.

Зношуваність - властивість матеріалу змінювати розміри, форму, руйнувати поверхневий шар або змінювати стан його поверхні внаслідок залишкової деформації від постійно діючих навантажень при терті сполучених поверхонь.

Зносостійкість - здатність матеріалу чинити опір зношуванню, що оцінюється величиною зворотною швидкості зношування

7. Методи дослідження структури металів.

Найбільш поширеними засобами дослідження кристалічної структури металів, залізовуглецевих сплавів та ін. є макро- та мікроаналіз.

Макроаналіз полягає в дослідженні будови металів та сплавів неозброєним оком або при незначному збільшенні /до 30 разів/. Таке збільшення дозволяє вивчати великі перетини металів, робити висновки про їх будову та наявність певних дефектів, а також вибирати ділянки для подальших досліджень. Будова металів та сплавів, що визначена таким чином, називається макроструктурою.

За допомогою макроаналізу можна визначити:

- порушення суцільності металу /усадочна пухкість, центральна пористість, підкоркові пухирі, свищі/;
- будову литого та деформованого металів;
- хімічну неоднорідність /ліквацію/;
- вид зламу.

Макроаналіз литого металу. Травлення макрошліфа проводять в 15%-му водному розчині персульфату амонію при температурі 80-90°C на протязі 5-10 хвилин. Для литого металу характерні велика неоднорідність зерен за формою та розміром, наявність несцільностей, неоднорідність хімічного складу. Ці особливості будови литого металу, які погіршують його властивості і тому належать до недоліків, обумовлені процесом кристалізації. Макроаналіз сталюого зливка показав, що в його структурі можна виділити три зони:

- дрібних дезорієнтованих кристалів;
- орієнтованих стовпчастих кристалів;
- великих дезорієнтованих рівновісних кристалів.

Мікроскопічний аналіз (мікроаналіз) полягає у вивченні мікроструктури металів за допомогою оптичного мікроскопа. Мікроструктурою називають внутрішню будову металу, яку спостерігають при збільшенні від 50 до 2000 разів. За допомогою мікроаналізу є можливість вивчати форми та розміри окремих зерен і фаз, з яких складається метал, виявляти, які зміни внутрішньої будови відбуваються під впливом різних факторів при термічній або хіміко-термічній обробці, а також виявляти розташовані в металі включення та мікрodefekти.

Електронномікроскопічне дослідження металів створюється за допомогою швидкого потоку електронів при збільшенні від 30000 разів.

Рентгеноструктурний аналіз дозволяє визначити розташування атомів у кристалів і відстані між ними з використанням рентгенівських променів.

За допомогою *оптичного металографічного мікроскопа* досліджують структуру при збільшенні від 50 до 2000 разів, тобто з його допомогою можна розрізнити елементи структури розміром до 0,2 мкм (200 нм).

Дуже дрібні частинки структури вивчають завдяки *електронному мікроскопу*, де зображення створюється за допомогою швидкого потоку електронів. При цьому спостерігаються частинки структури розміром до 2...5 нм. Електронний мікроскоп на противагу оптичному забезпечує значну глибину різкості зображення при збільшеннях до 100 000 разів.

Розташування атомів у кристалах і відстані між ними визначають шляхом *рентгеноструктурного аналізу* з використанням *рентгенівських променів*. Якщо в напрямку потоку цих променів поставити фотопластинку, то посилені промені залишать на ній кільцеві плями, розшифровуючи які, можна встановити тип кристалічної ґратки і величину

її параметрів. Рентгеновськими променями визначають також дефектність, деформацію кристалічної ґратки та орієнтацію зерен.