

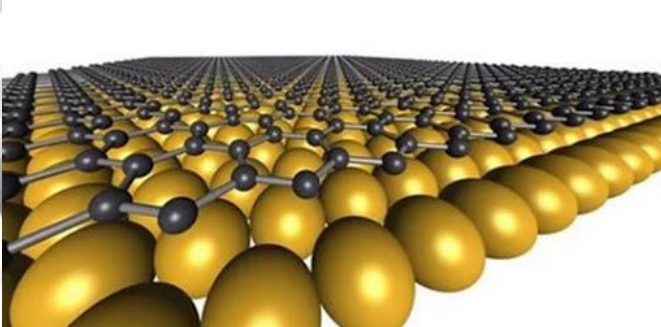


СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра електроніки, загальної та
прикладної фізики



Епітаксійний ріст плівок

к.ф.-м.н., доцент Шумакова Н.І.

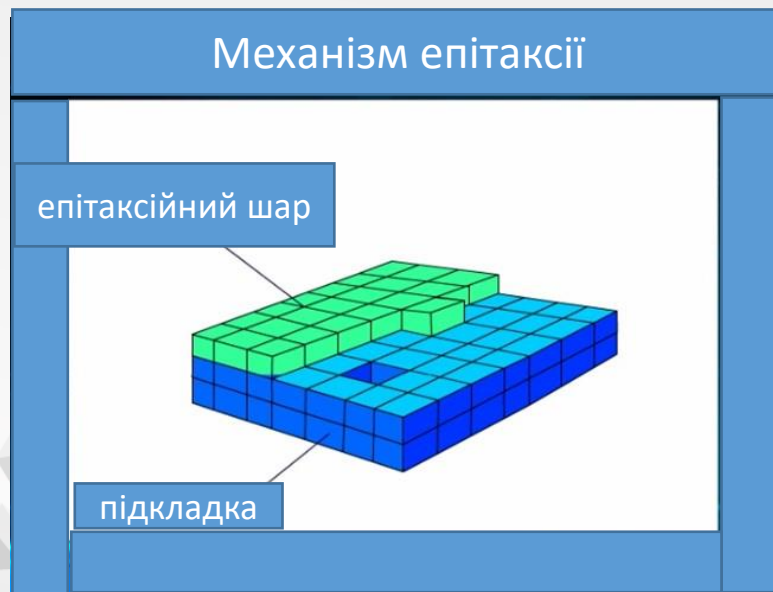


Суми-2020

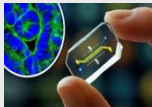


Загальна інформація

- **Процес епітаксії** відомий уже більше 100 років. Він полягає в тому, що один матеріал росте орієнтовано (монокристалічно) на іншому матеріалі, і при цьому існує кристалографічна відповідність між підкладкою і плівкою (тобто певні кристалографічні площини та напрямки є паралельними).
- **Епітаксія** - метод осадження монокристалічної плівки на монокристалічну підкладку, при якому кристалографічна орієнтація шару, який осаджують, повторює кристалографічну орієнтацію підкладки. Осаджена плівка зветься епітаксійною плівкою або епітаксійним шаром.



Епітаксійні плівки можуть бути вирощені з газоподібних або рідких прекурсорів. Оскільки підкладка виконує роль затравочного кристала, осаджена плівка переймає структуру та орієнтацію ґратки, що є ідентичними до ґратки підкладки. **Це є відмінністю від методів осадження тонких плівок**, в яких осаджуються полікристалічні або аморфні плівки, навіть на монокристалічних підкладках.



Різновиди епітаксії

1

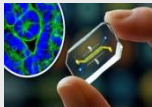
Автоепітаксія - орієнтований, або монокристалічний ріст плівки на підкладці із того самого матеріалу;

2

Гетероепітаксія (називається епітаксією) - власне, вона майже завжди вирощення орієнтованої плівки на підкладці з іншого матеріалу.

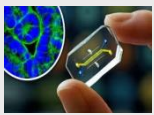
3

Гетеротопітаксія - процес подібний до гетероепітаксії, окрім того факту що ріст тонкої плівки не обмежується двовимірним ростом. Тут підкладка схожа до тонкоплівкового матеріалу лише за структурою.



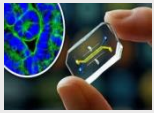
Зародження епітаксіальних частинок

- Вивчення процесів зародження епітаксіальних частинок методом електронної мікроскопії показало, **що зародки утворюються на дефектних ділянках** кристалічних граней. Спочатку вважали, що місцями вибіркового зародження є сходинки на поверхні, в тому числі й мікросходинки.
- Згодом була висунута ідея, що на грані іонного монокристала зародки утворюються на дефектах решітки та їх скупченнях. Ця ідея була повністю підтверджена експериментально.
- Процес утворення зародків дуже чутливий до наявності дефектів безпосередньо на поверхні кристала або біля поверхні.
- Поверхневі дефекти, які мають електронний заряд, є ефективними центрами конденсації. Цим можна пояснити орієнтований ріст плівок на тонких аморфних шарах, нанесених безпосередньо на кристалеву підкладку.
- **У більшості випадків при епітаксії підкладками можуть бути такі іонні монокристали, як $NaCl$, KCl , KBr та інші.**



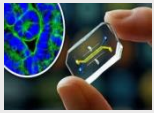
Класифікація механізмів епітаксіального росту

1. Регулярна, бездефектна епітаксія з пружною компенсацією невідповідності, яка містить такі види:
 - автоепітаксію;
 - епітаксію при малій різниці параметрів решіток;
 - епітаксію з малою відмінністю симетрії решіток;
2. Регулярна, бездислокаційна епітаксія з виникненням спеціальної поверхні розділу, яка містить такі види:
 - спряження з утворенням двійникової межі або дефекту пакування;
 - спряження різних фаз, решітки яких допускають регулярність спряження;
3. Регулярна епітаксія з додатковою компенсацією невідповідності з точковими дефектами, в тому числі:
 - ізольованими точковими дефектами;
 - ланцюжком точкових дефектів;
 - надрешітками вакансій або домішкових атомів;



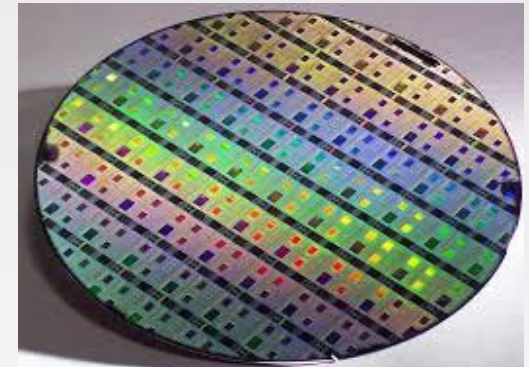
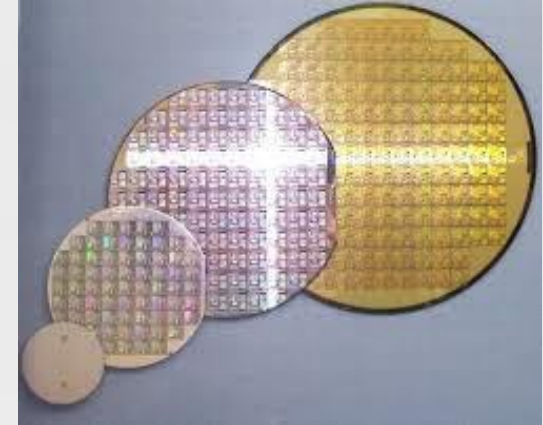
Класифікація механізмів епітаксіального росту

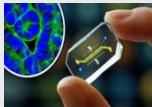
4. Регулярна епітаксія з компенсацією невідповідності з крайовими і гвинтовими дислокаціями невідповідності;
 5. Нерегулярна епітаксія з виникненням розділу з такою самою структурою, як і на межі з великим кутом повороту.
- У процесі росту епітаксіального шару види епітаксії можуть безперервно змінюватися з переходом із одного її різновиду в інший. Крім того, енергетичний мінімум для одного виду спряження необов'язково повинен збігатися з енергетичним мінімумом для іншого.



Застосування епітаксії

- Епітаксія використовується в [нанотехнологіях](#) та виготовленні [напівпровідників](#). Фактично епітаксія є єдиним доступним методом вирощування високоякісних кристалів для більшості напівпровідникових матеріалів, включаючи такі технологічно важливі матеріали, як кремній-германій, [нітрид галію](#), арсенід галію, фосфід [індію](#) та [графен](#).
- Епітаксія також використовується для вирощування шарів попередньо легованого [кремнію](#) на боках кремнієвих пластин перед їх використанням у напівпровідникових приладах. Це є типовим для напівпровідникових приладів, як ті, що використовуються в [електрокардіостимуляторах](#), контролерах торговельних автоматів, автомобільній електроніці, та ін.





Види спряжень кристалів при епітаксіальному рості

Згідно теорії Франка ван дер Мерве невідповідність решіток виникає не лише на межі підкладка-епітаксіальна плівка (площина $xу$), а й на межі спряження окремих епітаксіальних кристалів (площина yz). Невідповідність як для горизонтальних, так і вертикальних меж спряження виникає через відмінність решіток з такими характеристиками:

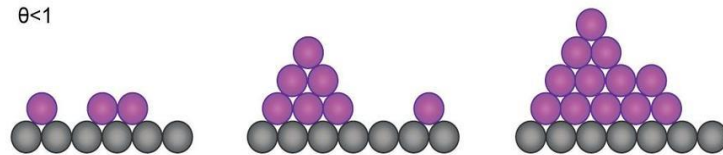
- період кристалічної решітки;
- їх взаємне зміщення;
- кут повороту;
- симетрія граней, що спрягаються.

Компенсація невідповідності в цих випадках відбувається за допомогою таких механізмів :

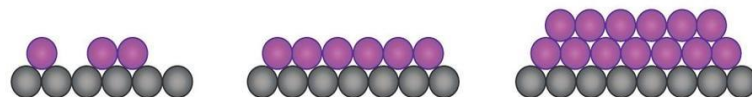
- завдяки пружній деформації;
- за допомогою точкових дефектів;
- завдяки дислокаціям невідповідності;
- шляхом утворення двовимірних дефектів (межа двійникового типу та типу великокутової межі зерен).

Острівковий механізм росту Вольмера-Вебера

$\theta < 1$

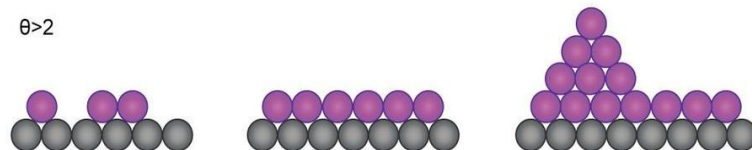


Послойний механізм росту Франка-ван дер Мерве



Змішаний механізм росту Странскі-Крастанова

$\theta > 2$



Дякую за увагу!

