# Доповідь по захисту дисертації

1. Вступ

* Плівковий нанокристалічний кремній вважається перспективним матеріалом для наступного покоління сонячних елементів на квантових точках. Це зумовлено тим, що він поглинає світло по квазі-прямозонному механізму. Більше того, ширина забороненої зони для нанокристалічного кремнію залежить від розмірів нанокристалів в діапазоні розмірів від 1 до 10 нм.
* Однак, сучасні технології виробництва не дозволяють достатньо точно керувати розмірами нанокристалів в цьому діапазоні розмірів.
* Одним із способів виготовлення нанокристалічного кремнію є індукована металами кристалізація аморфного кремнію. Причому, саме використання Олова викликає практичний інтерес. Олово ізовалентний кремнію елемент, тому не створює додаткових енергетичних рівнів в забороненій зоні кремнію. Тому не впливає на електричні і рекомбінаційні властивості. Інформації про вплив олова на кристалізаційні процеси в кремнію відомо мало, тому було поставлено три експериментальні задачі. Кожній задачі відповідає глава дисертації.
  + - * + Дослідження мікроструктури плівкових сплавів кремнію з оловом
        + Дослідження індукованої оловом кристалізації кремнію в планарних структурах а-Si\Sn
        + Дослідження вплив лазерного опромінення на кристалізацію в шаруватих структурах кремній-олово

1. Почнемо з легування оловом
   * + Для першої частини експерименту виготовлялись плівкові зразки методом термічного випаровування у вакуумі суміші порошків кремнію і олова у різних пропорціях і осадження на підкладки з монокристалічного кремнію при температурі 300С
     + Аналіз фазового стану плівок аналізувався по спектрах КРС. Частка кристалічної фази оцінювалась по відношенню інтегральної інтенсивності аморфної і кристалічної складової спектра, розміри нанокристалів оцінювались по зсуву піка для нанокристалічного кремнію відносно монокристалічного.
     + Методом ОЖЕ-спектроскопії з пошаровим іонним травленням показано, що олово розподілено відносно однорідно по товщині досліджуваних зразків
     + Чому так багато домішок кисню і вуглецю – бо при транспортуванні і дослідженні потрапляють з атмосфери
     + Результати фазового аналізу показали, що кристалізація має порогову залежність. Кристалізація починається від концентрації олова 2.5 ат %. Частка кристалічної фази і розміри нанокристалів ростуть корельовано частці олова.
     + Дослідження мікроструктури поверхні зразків показало, що поверхня вкрита квазісферичними утвореннями, оточенними дендрито-подібними ореолами.
     + Рентгено флуоресцентний аналіз показав різних областей поверхні показав, що краплі складаються з олова, вкритого окисною плівкою. З віддаленням від краплі концентрація олова зменшується.
     + Спектри комбінаційного розсіяння показали, що на межі металевої краплини частка кристалічної фази кремнію досягає 80% відсотків і зменшується у напрямку віддалення від краплини.
     + Це все дозволяє зробити висновки, що кристалізація аморфного кремнію в досліджуваних структурах носить пороговий характер, і починається коли концентрація олова перевищує максимальну розчинність олова в кремнію, при якій олово збирається в краплі. При цьому, кристалізація пропорційна концентрації олова, тому максимальна на границі кралі олова.
2. Індукована оловом кристалізація кремнію в планарних структурах а-Si\Sn

* Зразки виготовлялись шляхом почергового осадження кремнію і олова на підкладку з бор-силікатного скла при температурі 150С, потім зразки піддавались термообробкам при температурах 300 і 400С
* В якості контрольних зразків були плівки аморфного кремнію, отримані тим же способом, але без олова
* Дослідження фазвого складу отриманих зразків показали, що контрольні зразки залишаються аморфними навіть після термообробок. Вихідні зразки з оловом частково кристалізовані. При подальших термообробках частка кристалічної фази і розміри нанокристалів ростуть корельовано з температурою.
* Елементний аналіз зразків по товщині показав, що кремній присутній по всій товщині зразка. Це пояснюється фотографіями поверхні. Насправді, поверхня не гладка, а вкрита кульками. Тобто, олово збирається в краплі ще етапі формування плівок. Очевидно, елементний аналіз по товщині плівок відображає усереднений розподіл елементів по товщині шару кульок олова, вкритих оболонкою кремнію (рис. 4.5).
* Після термообробок олово і кремній розподілилось по всій товщині плівки. Наявність росту кристалічної фази під час термообробок свідчить про те, що в процесі кристалізації під час термообробок відбувається перемішування кремнію і олова.

1. Вплив лазерного випромінювання на процеси оловом індукованої кристалізації аморфного кремнію

* В третій частині експерименту було досліджено вплив лазерного опромінення на процеси кристалізації в шаруватих структурах. Причому, було досліджено вплив і постійного, і імпульсного лазера.
  1. Вплив світла неперервного лазера на МІК в а-Si/Sn.
* Досліджувались ті ж шаруваті зразки, що і в попередньому розділі.
* Спекри знімали над оловом, на краю
* На краю – кристалізація відсутня
* Над оловом – відбувається кристалізація, параметри кристалічності корелюють з потужністю лазера
* По зсуву можна визначити температуру. Для різних зразків – від 350 до 960С
  1. Вплив імпульсного лазерного опромінення на МІК в гетероструктурах a-Si\Sn
* …

Notes

* Ідея – використати олова як зародки для кристалізації. Більше олова-менші кристали. Олово – особливе, бо …
* З іншого боку – МІК, дозволяє отримувати…
* Мета роботи – знайти фізичні принципи управління розмірами нанокристалів, які дозволять по цій технології отримувати нанокристали потрібних розмірів
* Тому вирішувались три експериментальні задачі, кожній задачі відповідає глава дисертації

# ПКН

Робота присвячена дослідженню плівкового композиту, що являє собою нанокристали кремнію у матриці аморфного кремнію. Цей матеріал вважається перспективним для сонячної енергетики. Це зумовлено квантово-розмірними ефектами, що надають матеріалу фізичні властивості, важливі для виготовлення сонячних елементів.

--Завдяки прямо зонному механізму поглинання достатньо всього 1мкм нанокремнію, щоб повністю поглинути сонячне світло, на відміну від 100мкм, необхідних для моно- чи полікристалічного кремнію.

**Слайд( )** Раніше було показано, що легування оловом аморфного кремнію призводить до зниження температури початку кристалізації на кілька сотень градусів. Також олово стимулює низькотемпературну кристалізацію у багатошарових плівкових структурах Si/Sn/Si. Однак, механізм впливу олова погано вивчений, тому метою моєї роботи було дослідження впливу різних факторів на частку кристалічної фази кремнію і розміри нанокристалів у плівкових структурах Si/Sn/Si .

Було виготовлено тришарові плівкові структури з товщинами шарів від 50 до 100 нм.

На холодну підкладку з боросилікатного скла напилено шар кремнію. На нього через маску напилено шар олова, і знову шар кремнію. Такі структури піддавались відпалу протягом 30хв при температурах 250, 300 і 400 градусів Цельсія. Фазовий склад отриманих зразків досліджувався по спектрах комбінаційного розсіяння світла. Широкий пік відповідає аморфному кремнію, вузький пік відповідає кристалічному кремнію. Оцінку частки кристалічної фази можна робити по відношенню амплітуд аморфного і кристалічного піка, а розмірів – по положенню піка. Встановлено, що виготовлені зразки повністю аморфні. Уже при температурі відпалу 250 градусів у плівках з’являється кристалічна складова. Із збільшенням температури відпалу частка кристалічної фази і розміри кристалітів збільшуються. Область зразка, що не містить олова, повністю аморфна навіть при температурі відпалу 400 градусів.

Виявилось, що для відпалу таких структур можна використовувати лазер, який збуджує комбінаційне розсіяння. На слайді приведено спектри, отримані в одному місці зразка при малій, середній та максимальній потужності лазера. При малій потужності у зразках відсутня кристалічна складова. При збільшенні потужності у зразках з’являється кристалічна складова, причому чим більша потужність, тим більша частка кристалічної фази.

Якщо порівняти спектр, знятий при максимальній потужності лазера і повторний спектр при малій потужності, видно що відношення аморфних і кристалічних піків у них однакове, що свідчить про збереження стимульованої лазером кристалізації. Положення кристалічних піків для цих спектрів відрізняється на 12 см. Це температурний зсув, який відповідає різниці температур 500 градусів для монокристалічного кремнію.

За допомогою Оже-спектроскопії було виміряно профіль розподілу елементів по товщині зразків до та після ТО. Після відпалу олово рівномірно розподілилось по всій товщині плівки, тому можна вважати, що процес кристалізації відбувається рівномірно по товщині плівки.

Таким чином, у нашій роботі вперше було продемонстровано принцип нового методу виготовлення нанокристалічних кремнієвих плівок за допомогою кристалізації, стимульованої оловом та лазерним відпалом.

Перевагою даного методу є можливість оперативної оцінки і управління розмірам кристалітів в процесі виготовлення. Також важливо відмітити досить низькі температури кристалізації, що дозволить використовувати в якості підкладок гнучкі полімерні плівки для дешевої рулонної технології виготовлення СЕ.

# лазер

Представляю вашій увазі звіт по стипендії Президента України за останні пів року.(Слайд2)

Раніше я вже розповідав Вам про індуковану оловом нанокристалізацію аморфного кремнію та перспективи її використання в промисловий цілях. Робота над дослідженням цього ефекту продовжується, і сьогодні і представлю вам деякі результати по дослідженню впливу імпульсного лазернорго опромінення на фазові переходи в плівкових структурах кремній олова. (Слайд 3 )

Власне, дослідження розбито на 2 групи. Перше, це дослідження впливу опромінення на розміри нанокристалів і частку кристалічної фази вихідних аморфно-нанокристалічних кремнієвих композитів.

Досліджувані зразки являли собою тришарові плівкові структури, схема яких показана на рисунку. Ці плівки піддавались відпалу, так що перед опроміненням лазером у них уже були нанокристали розміром півтора нанометри і приблизно 50% кристалічної фази кремнію.