

РОЛЬ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПОЛІВ У ФОРМУВАННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОРОЗМІРНИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ ІІІ-НІТРИДІВ

Кладько В.П., Кучук А.В., Беляєв О.Є.

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова,
03028, Київ, пр. Науки 41, Київ, Україна*

В доповіді представлений аналіз результатів дослідження впливу різних технологічних умов отримання на деформаційно-структурний стан та фізичні параметри нанорозмірних ІІІ-нітридних систем. Структурні та деформаційні властивості, а також геометричні параметри структур досліджувались за допомогою високороздільної Х-променевої дифрактометрії, електронної мікроскопії та зондової мікроскопії.

Зокрема для AlGaN/GaN НЕМТ-структур встановлена залежність між кривизною системи і невідповідністю ґраток, яка викликана різними долями наноблоків, по різному орієнтованих відносно *c*-осі сапфіру. Запропоновано новий механізм пружної релаксації деформацій [1].

Представлено результати дослідження релаксації деформаційного стану в короткоперіодних надґратках (КПНГ) GaN/AlN, вирощених на двох різних ІІІ-нітридних темплейтах, які вносять різні компенсуючі деформації в плівках.

Показано, що механізм релаксації напружень в цих структурах залежить від залишкової деформації в підкладці і визначається невідповідністю ґраток між шарами, яка більш ніж на порядок вища, ніж термічні деформації. Встановлено, що при рості на темплейті AlN компенсуючі деформації запобігають утворенню тріщин, проте існує велика густина поверхневих ямок та дислокацій і зберігається псевдоморфний ріст НГ. При цьому чітко простежується тривимірний ріст верхнього шару GaN. Двовимірний режим росту покриваючого шару був зареєстрований для структур з неспсевдоморфним ростом НГ на темплейті GaN із значною густиною великих тріщин на поверхні [2].

Проаналізований вплив деформацій на зміну (зменшення) товщини квантових ям (КЯ) в GaN/AlN КПНГ. Цей ефект пояснюється тим, що термічно активований механізм обміну між Al адатомами і атомами Ga на поверхні залежить від деформаційного стану GaN КЯ. Ці результати були підтверджені *ab-initio* розрахунками, які доводять, що заміщення атомів Ga на поверхні ґратки GaN адатомами Al призводить до істотного виграшу в енергії. У той же час кінетика процесу такого обміну залежить від деформаційного стану поверхні GaN через вплив на висоту енергетичного бар'єру. Фізично, Al-Ga обмін вимагає великого зміщення поверхневих атомів Ga і, отже, деформація стиску збільшує енергію, необхідну для таких великих переміщень [3].

При дослідженні впливу деформації і співвідношення товщин яма/бар'єр на процеси рекомбінації в багатоямних структурах AlGaN/GaN було встановлено, що деформація стиску в буфері, а також в шарах КЯ викликає п'єзоелектричні поля, які мають однаковий знак в ямі і бар'єрі. Тому, рекомбінація донорно-акцепторних пар домінує над переходами між електронними і дірковими станами в квантовій ямі [4].

Окремо слід сказати про нанодоти (НД) GaN, широкий діапазон унікальних властивостей яких, поряд із різними методами вирощування, робить їх перспективними кандидатами для нанорозмірної оптоелектроніки. НД GaN використовуються в якості нанорозмірних ультрафіолетових фотодетекторів, наногенераторів на основі п'єзоелектричного ефекту, біосенсорів, нанолазерів тощо. В свою чергу, інтеграція оптично-активних напівпровідників на Si (у зв'язку з його дешевизною, великими розмірами підкладок), має вирішальне значення для генерації майбутньої електронно-обчислювальної техніки на фотонно-електронній платформі. Велика різниця періодів ґраток (Ga, Al)N та Si (що становить порядку 17% (GaN) і 19% (AlN)) та коефіцієнтів термічного розширення (біля 54% (GaN) та 38% (AlN)) є причиною виникнення деформацій в епітаксійних плівках та НД. Але, на противагу планарним тонким плівкам, в яких механізм акомодатії кристалічної ґратки є переважно пластичним із утворенням дислокацій невідповідності, НД є переважно бездислокаційними структурами в яких деформації пружно релаксують на бокових гранях НД [5].

Широке практичне застосування для сучасних оптоелектронних пристроїв знаходить градієнтно-поляризаційне легування $Al_xGa_{1-x}N$ сполук. На даний час успішно виготовлені поляризаційно-індуковані *p-n* переходи та світлодіоди з використанням градієнтних $Al_xGa_{1-x}N$ плівок та НД в яких глибинний профіль компонентного складу є ключовим фактором у зміні властивостей цих структур [5]. Проте, навіть для $Al_xGa_{1-x}N$ сполук із однаковим компонентним складом існує велика різниця в деформаційних профілях між градієнтними плівками та НД. Ця різниця, викликана великою площею вільної поверхні НД призводить до змін в густині поляризаційно-індукованих носіїв, завдяки різниці між п'єзоелектричними компонентами та зв'язаній з деформацією густині дефектів.

1. Kladko V.P., Kuchuk A.V. та ін. // Applied Physics Letters. 2009. **95**, 031907.
2. Kladko V.P., Kuchuk A.V. та ін. // Nanoscale Research Letters. 2012. **7**, 289.
3. Kuchuk A.V., Kladko V.P., та ін. // Nanotechnology 2014. **25**, 245602.
4. Kladko V.P., Kuchuk A.V. та ін. // Physica E. 2016. **76**, 140-145.
5. Kuchuk A.V., Lytvyn P.M., ...Kladko V.P. та ін., ACS Appl. Mater. Interfaces. 2015. **7**, 23320–23327.

uscsp6@gmail.com