

3. Banzhaf W. *Genetic Programming: An Introduction: On the Automatic Evolution of Computer Programs and Its Applications* / W. Banzhaf, P. Nordin, R.E. Keller, F.D. Francone // Morgan Kaufmann, 1997.
4. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций / Е.С.Вентцель. – Советское радио, 1969. – 390 с.
5. Катренко А.В. Дослідження операцій.– Львів: Магнолія Плюс, 2004.– 549 с.
6. Литвин В.В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / В.В.Литвин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 240 с.
7. Сетлак Г. Решение задач многокритериальной оптимизации с использованием генетических алгоритмов [Текст] // System Research and Information Technologies. Kiev: IASA National Academy of Sciences and Ministry of Education and Science Ukraine. 2002. – № 3. – P. 32–42.
8. Рассел С. Искусственный интеллект / С. Рассел, П. Норвиг. – М.; СПб.; К.: Вильямс, 2006. – 1408 с.
9. Литвин В.В. Система підтримки прийняття рішень як складова автоматизованої системи управління сухопутних військ Збройних Сил України / В.В. Литвин, Е.В. Лучук, П.П. Ткачук // Військово-науковий вісник. – 2013. – Випуск 2 (9). – С. 43–46.
10. Литвин В.В. Метод використання онтологій в петлі OODA для моделювання воєнних дій / В.В. Литвин, Л.Л. Джавала, Е.В. Лучук // Системи обробки інформації, 2013, випуск 4 (111). – С. 76–81.

Рецензент: д.т.н., доц. Є.В. Буrows, Національний університет «Львівська політехніка», Львів.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В АСУ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА

П.П. Ткачук, В.В. Литвин, В.Л. Живчук, О.В. Оборская

В статье рассматривается подход к построению модуля целераспределения в составе автоматизированной системы управления Сухопутных войск Вооруженных Сил Украины. Для получения близкого к оптимальному целераспределению предложено использовать генетические алгоритмы.

Ключевые слова: целераспределение, вероятность, математическое ожидание, селекция, скрещивание, мутация.

THE USE OF GENETIC ALGORITHMS IN THE TARGET DISTRIBUTION IN COMMAND CONTROL SYSTEM

P. Tkachyk, V. Lytvyn, V. Zhyvchuk, O. Oborska

The article exposes the approach to the construction of the module target distribution as part of the automated control system of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine. For close to the optimum target proposed to use genetic algorithms.

Key words: target distribution, probability, mathematical expectation, selection, crossover, mutation.

УДК 621.315.592

О.І. Фіцич

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

НЕЙТРАЛЬНІ ДЕФЕКТИ МПЕ ПЛІВОК CdHgTe

Проведені електрофізичні і оптичні дослідження дефектної структури плівок CdHgTe, вироцених молекулярно-пучковою епітаксією (МПЕ). Показано, що особливістю даних плівок є наявність нейтральних дефектів, що формуються на стадії росту і властивих матеріалу, вироценому саме методом МПЕ. Припускається, що цими нейтральними дефектами є наноконплеси Te, які були виявлені за допомогою іонного травлення. При іонному травленні вони активуються міжвузловою ртуттю і формують донорні центри з концентрацією $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$, що дає можливість виявляти ці дефекти за допомогою вимірювань електричних параметрів матеріалу. При легуванні CdHgTe миш'яком з високотемпературним крекінгом присутній в потоці миш'яку димер As₂ блокує наноконплес Te з формуванням донорних конплесів As₂Te₃. Результати електрофізичних досліджень порівнюються з даними досліджень мікроскопії.

Ключові слова: CdHgTe, нейтральні дефекти, іонне травлення, мікроскопії.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Тверді розчини CdHgTe (КРТ) сьогодні є головним напівпровідниковим матеріалом для створення приймачів інфрачервоного (ІЧ) діапазону спектра 2–20 мкм з найвищими параметрами. Вони є основою багатьох систем та пристроїв і цивільної та військової техніки. Наприклад, системи лазерної локації та далекометрії, системи теплобачення, різноманітні системи пошуку та супроводу цілей, прицілювання та наведення, головки наведення ракет різного класу, системи реєстрації за пусками балістичних ракет, волоконно-оптичні лінії зв'язку та інші. Близько 80% всіх фотоприймачів призначені саме для потреб військової техніки.

Найперспективнішим методом вирощування епітаксійних плівок (ЕП) CdHgTe сьогодні вважається молекулярно-променева епітаксія (МПЕ). Проте через нерівноважний характер МПЕ структура дефектів у таких ЕП значно відрізняється від структури дефектів у КРТ, вирощеному в квазірівноважних умовах (наприклад, у монокристалах (МК) і плівках, отриманих рідкофазною епітаксією (РФЕ)). Дефекти в МПЕ КРТ є предметом інтенсивних досліджень і до сьогодні. Наприклад, відомо, що в *as-grown* МК і РФЕ плівках домінуючим типом дефектів є вакансії ртуті (власні акцептори), які визначають *p*-тип провідності матеріалу. В той же час *as-grown* МПЕ плівки характеризуються *n*-типом провідності, і його природа остаточно не зрозуміла. Припускається [1], що вона також обумовлена власним дефектом – антиструктурним телуром Te_{Hg} – телур в катіонній підгратці ртуті – (власний донор), що утворюється через нерівноважний характер МПЕ. Концентрація Te_{Hg} залежить від температури підкладки і може досягати величини $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Окрім цього, як вперше було показано в [2], у МПЕ плівках КРТ, незалежно від типу підкладки (CdZnTe, GaAs або Si), присутній деякий початково нейтральний дефект. Його наявність була виявлена за допомогою запропонованого авторами методу дослідження дефектної структури КРТ – обробки матеріалу низькоенергетичними іонами (іонне травлення – ІТ). Міжвузлова ртуть, що генерується в процесі ІТ, взаємодіє з основними акцепторними домішками і деякими нейтральними дефектами з утворенням донорних комплексів, які виявляються в електрофізичних вимірах. Зокрема, при активації при ІТ даного нейтрального дефекту утворюються донорні центри з концентрацією до $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Як показали подальші дослідження (наприклад [3–5]), формування даного дефекту в МПЕ КРТ відбувається на стадії росту незалежно від типу конкретної технології, тобто визначається самим характером МПЕ. Було припущено, що це дефект, пов'язаний з телуром, – наноккомплекс Te [2]. Також, було виявлено [6], що даний дефект виявляється блокованим в *as-grown* МПЕ плівках КРТ *n*-типу,

легованих миш'яком з використанням високотемпературного крекінгу, але проявляється після активаційного термічного відпалу в зразках *p*-типу провідності. Передбачається, що в цьому випадку при рості наноккомплекси Te блокуються присутніми в потоці димерними молекулами As_2 з утворенням донорних комплексів As_2Te_3 , що розпадаються при активаційному відпалі з вивільненням наноккомплексів Te. Відзначимо, що утворення після ІТ донорних центрів з концентрацією $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$, яке вказує на присутність початково нейтральних дефектів, спостерігалось нами і в РФЕ плівках [7]. Висновок про присутність наноккомплексів Te в таких плівках був раніше вже зроблений на основі даних мікроскопії спектроскопії [8].

Мета роботи. Порівняння результатів електрофізичних і мікроскопійських досліджень дефектної структури МПЕ плівок КРТ.

Виклад основного матеріалу

Для досліджень були використані ЕП, вирощені на підкладках GaAs(013) з буферним шаром CdTe/ZnTe, у тому числі, плівки, леговані миш'яком з використанням низько- та високотемпературного крекінгу [9]. Типова ЕП $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ мала склад $x \sim 0.22$ і товщину $d \sim 9$ мкм. Досліджували *as-grown* ЕП і плівки після двостадійного активаційного відпалу (1-ша стадія (360 °C, 2 год.) використовувалася для активації миш'яку як акцептора (переведення As в підгратку Te); 2-га стадія (210 °C, 24 год. в насичених парах Hg) використовувалася для анігіляції вакансій ртуті, створених на першій стадії. За даними мас-спектроскопії вторинних іонів концентрація миш'яку в ЕП була на рівні 10^{16} см^{-3} . Параметри ЕП після росту і ІТ визначали шляхом вимірювання польових залежностей коефіцієнта Хола і провідності від магнітного поля ($R_H(B)$ і $\sigma(B)$ відповідно) $T=77$ К в магнітних полях B 0.01–1.5 Тл. Отримані залежності аналізували методом дискретного аналізу спектрів рухливості (DMSA) [10], внаслідок чого отримували параметри (концентрацію і рухливість електронів) вихідного зразка або основного об'єму модифікованого ІТ *n*-шару. Після росту ЕП характеризувалася *n*-типом провідності, значення концентрації (n_{77}) електронів за $T=77$ К для досліджених ЕС складало $(6-20) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, концентрація дірок (p_{77}) після відпалу складала $(1-5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

ІТ зразків здійснювали іонами Ag^+ на установці ІВ-3 фірми ЕІКО (Японія) за наступних режимів: енергія – 500 еВ, густина струму – 0.2 mA/cm^2 , час – 20 хв. Дослідження процесу релаксації електричних параметрів ЕП після ІТ проводили шляхом послідовних вимірювань при 77 К $R_H(B)$ і $\sigma(B)$ зразків, які витримували між вимірюваннями за 300 К.

Мікроскопійські спектри записувалися в геометрії «на відбиття» за кімнатної температури в спектральному діапазоні 50–400 cm^{-1} на установці Renishaw in Via Raman System з HeNe-лазером (довжина хвилі 633 нм),

охолоджуваною CCD-камерою і оптичним мікроскопом Leika. Випромінювання лазера фокусувалося в пляму діаметром ~ 1 мкм і густиною потужності < 50 кВт/см², при цьому деструкції поверхні зразка в процесі дослідження не спостерігалось. Для запису і аналізу спектрів використовували програмне забезпечення Renishaw's WIRE software 3.4.

Результати досліджень дефектної структури низки ЕП за допомогою ІТ і електрофізичних вимірювань представлені на рис. 1.

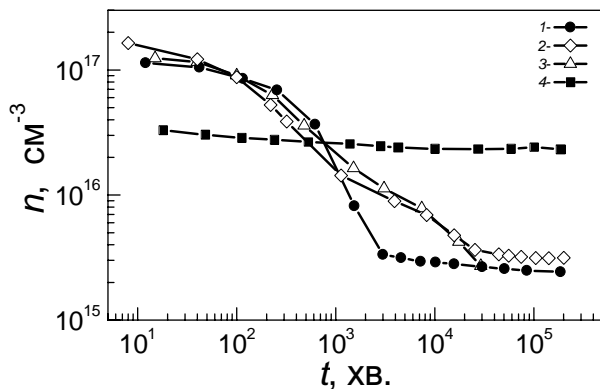


Рис. 1. Зміна концентрації електронів основного об'єму модифікованого ІТ *n*-шару для плівок МПЕ КРТ в процесі зберігання за кімнатної температури: 1 – М10 (нелегований матеріал, ІТ as-grown ЕП *n*-типу), 2 – М6 (легування миш'яком без крекінгу, ІТ після активаційного відпалу ЕП *p*-типу), 3 – М9а (легування миш'яком з високотемпературним крекінгом, ІТ проводилося після активаційного відпалу ЕП *p*-типу), 4 – М9 (легування миш'яком з високотемпературним крекінгом, ІТ проводилося для as-grown ЕП *n*-типу).

Згідно з існуючими уявленнями [2] початкова концентрація електронів, виміряна безпосередньо після припинення ІТ, відповідає сумарній концентрації донорів (домішкових і власних донорних дефектів) і донорних комплексів, сформованих при ІТ міжвузловою ртуттю з основними акцепторними домішками і деякими нейтральними дефектами. Це добре видно на прикладі номінально нелегованої ЕП М10 (крива 1), де початкова концентрація n_{77} складає $\sim 10^{17}$ см⁻³ при тому, що концентрація електрично активних домішок у вихідному зразку була на два порядки нижче. Тому було зроблено припущення про існування нейтрального дефекту – наноконкомпексу Те. У as-grown (не активованих) ЕП *n*-типу, легуваних As з використанням високотемпературного крекінгу (М9, крива 4), початкова концентрація електронів була значно нижча і складала $\sim 4 \cdot 10^{16}$ см⁻³. Однак в аналогічній ЕП *p*-типу після активаційного відпалу початкове значення n_{77} після ІТ знову складало характерну величину $\sim 10^{17}$ см⁻³ (крива 3). На підставі цих даних і було зроблено припущення про те, що при використанні високотемпературного крекінгу, коли в потоці присутні димери As₂, вони блокують наноконкомпекси Те з утворенням донорних комплексів As₂Te₃, що розпадаються при

активаційному відпалі, відновлюючи нейтральні наноконкомпекси Те.

Для підтвердження висловлених припущень результати електрофізичних досліджень були зіставлені з даними досліджень ЕП методом мікроспектроскопії (рис. 2).

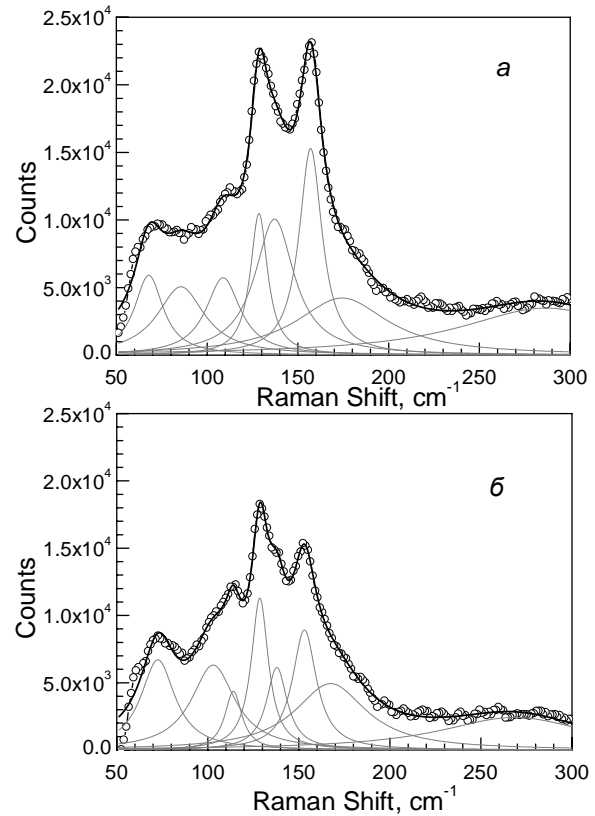


Рис. 2. Експериментальні мікро-раманівські спектри за 300 К (точки), лоренцеві компоненти (сірі лінії) та їх сума (чорна лінія): а – для ЕП М9 (післяростовий *n*-тип); б – М9а (*p*-тип після активаційного відпалу)

Таблиця 1

Значення максимумів спектральних ліній, отриманих при розкладанні спектрів

Пік	М9, см ⁻¹	М9а, см ⁻¹
1	67.9±0.72	72.6±0.43
2	85.6±0.9	103.0±2.5
3	108.8±0.91	114.1±0.55
4	128.6±0.32	128.6±0.32
5	137.1±3.1	137.9±77
6	157.0±0.18	153.0±0.35
7	174.3±4.6	167.5±4.3
8	286.6±1.8	268.5±2.3

Зазначимо, в експериментах для збудження був використаний лазер з довжиною хвилі 633 нм, що виключало можливість спостереження резонансних ефектів, пов'язаних з енергією переходів E_1 в Cd_xHg_{1-x}Te із складом $x \geq 0.2$ за 300 К.

Для порівняння були проведені вимірювання спектра мікрораманівського розсіяння на зразку монокристалічного Те, вирощеного методом Чохральського. У спектрі були присутні 3 лінії, з максимумами на частотах 122 см^{-1} (мода A_1), 94 і $141,6\text{ см}^{-1}$ (мода E), типові для монокристалів Те [11]. Відсутність цих піків у спектрах зразків М9 і М9а дозволяє припустити відсутність макровключень Те у вирощених ЕП [8, 12]. Разом із тим, присутні в спектрах інтенсивні дефектні моди при ~ 128 та 137 см^{-1} дозволяють зробити висновок про присутність в МПЕ зразках М9 і М9а преципітатів Те нанорозмірного характеру [8]. Згідно з [11] можна також припускати, що піки на частотах ~ 174 та 168 см^{-1} в зразках М9 та М9а пов'язані з коливальними модами As–Te, при цьому As в цих зразках знаходиться в різних положеннях: комплексах миш'яку з телуром (наприклад, у комплексах As_2Te_3) для зразка М9 та в аніонній підґратці для зразка М9а. Даний висновок був зроблений раніше на підставі результатів електрофізичних вимірювань. Присутня в після-ростовому зразку М9 дефектна мода при $108,8\text{ см}^{-1}$, яка пов'язується з антиструктурним Те [8, 12], не спостерігається в зразку М9а після активаційного відпалу. Проте в ньому спостерігається мода при $114,1\text{ см}^{-1}$ (відсутня у зразку М9), яка пов'язується з поперечною оптичною фонною модою (TO_2) в підґратці HgTe , що може бути пояснено покращенням структурної досконалості зразка після відпалу.

Висновки

Отримані дані показують, що для плівок $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, отриманих методом молекулярно-пучкової епітаксії та легованих миш'яком, результати порівняльних досліджень електрофізичних властивостей із застосуванням іонного травлення і мікрораманівського розсіяння узгоджуються із припущенням про присутність в МПЕ КРТ наноконструкцій Те, які взаємодіють в процесі росту з легуючою домішкою As. Для надійнішого підтвердження цих висновків необхідні подальші експерименти, які повинні включати рентгеноспектральні і електронно-мікроскопічні дослідження.

Список літератури

1. Варавин В.С. Донорные дефекты в эпитаксиальных слоях HgCdTe , выращенных молекулярно-пучковой эпитаксией / С.А. Дворецкий, Н.Н. Михайлов, Ю.Г. Сидоров // *Автоматрия*. – 2001. – № 3. – С. 9–19.
2. Izhnin I.I. Conductivity type conversion in ion-milled $p\text{-Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$: As heterostructures grown by molecular beam epitaxy / I.I. Izhnin, S.A. Dvoretzky, N.N. Mikhailov, Yu.G. Sidorov,

V.S. Varavin, K.D. Mynbaev, M. Pociask // *Appl. Phys. Lett.* – 2007. – Vol. 91, No. 13. – P. 132106-1–132106-3.

3. Pociask M. Donor doping of HgCdTe for LWIR and MWIR structures fabricated with ion milling / M. Pociask, I.I. Izhnin, A.I. Izhnin, S.A. Dvoretzky, N.N. Mikhailov, Yu.G. Sidorov, V.S. Varavin., K.D. Mynbaev // *Semicond. Sci. Technol.* – 2009. – Vol. 24, No. 2. – P. 025031.

4. Pociask M. Ion milling-induced conductivity-type conversion in $p\text{-type HgCdTe MBE-grown films with graded-gap surface layers}$ / M. Pociask, I.I. Izhnin, S.A. Dvoretzky, Yu.G. Sidorov, V.S. Varavin., N.N. Mikhailov, N.H. Talipov, K.D. Mynbaev, A.V. Voitsekhovkii // *Semicond. Sci. Technol.* – 2010. – Vol. 25, No. 2. – P. 065012.

5. Izhnin I.I. Defect structure of HgCdTe films grown by molecular-beam epitaxy on Si substrates / I.I. Izhnin, A.I. Izhnin, H.V. Savytskyi, M.M. Vakiv, Y.M. Stakhira, O.I. Fitsych, M.V. Yakushev, A.V. Sorochkin, I.V. Sabinina, S.A. Dvoretzky, Yu.G. Sidorov, V.S. Varavin, M. Pociask-Bialy, K.D. Mynbaev // *Semicond. Sci. Technol.* – 2012. – Vol. 27, No. 3. – P. 035001.

6. Izhnin I.I. Defect study in molecular beam epitaxy-grown HgCdTe film with activated and unactivated arsenic / I.I. Izhnin, S.A. Dvoretzky, K.D. Mynbaev, O.I. Fitsych, N.N. Mikhailov, V.S. Varavin, M. Pociask-Bialy, A.V. Voitsekhovskii, E. Szeregii // *J. Appl. Phys.* – 2014. – Vol. 115, No. 16. – P. 163501.

7. Ижнин И.И. Исследование структуры дефектов в пленках $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, выращенных жидкофазной эпитаксией, с помощью низкоэнергетической ионной обработки / И.И. Ижнин, А.И. Ижнин, Е.И. Фищыч, Н.А. Смирнова, И.А. Денисов, М. Поцьяк, К.Д. Мынбаев // *ФТП*. – 2011. – Т. 45, В. 9. – С. 1166–1170.

8. Belogorokhov A.I. Raman scattering in CdHgTe epitaxial layers grown on CdZnTe substrates / A.I. Belogorokhov, N.A. Smirnova, I.A. Denisov, L.I. Belogorokhova, B.N. Levonovich // *Phys. Stat. Sol. C*. – 2010. – Vol. 7, No. 6. – P. 1624–1626.

9. Сидоров Г.Ю. Исследование влияния температуры крекинга мышьяка на эффективность встраивания в пленки CdHgTe в процессе молекулярно-лучевой эпитаксии / Михайлов Н.Н., Варавин В.С., Сидоров Ю.Г., Икусов Д.Г., Дворецкий С.А. // *ФТП*. – 2008. – Т. 42, В. 6. – С. 668–671.

10. Богобоций В.В. О физическом смысле огибающей спектров подвижности / В.В. Богобоций, И.И. Ижнин // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. – 2003. – № 2. – С. 10–13.

11. Tverjanovich A. Raman spectroscopy of glasses in the As–Te system / A. Tverjanovich, K. Rodionov, E. Bychkov // *J. Sol. State Chem.* – 2012. – Vol. 190. – P. 271–276.

12. Belogorokhov A.I. The investigation of structural perfection of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}/\text{CdZnTe}$ epitaxial layers by the Raman scattering method / A.I. Belogorokhov, I.A. Denisov, N.A. Smirnova, L.I. Belogorokhova // *Semiconductors*. – 2004. – Vol. 38, No. 1. – P. 82–90.

Рецензент: д.фіз.-мат.н., проф. Й.М. Стахіра, Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів.

НЕЙТРАЛЬНЫЕ ДЕФЕКТЫ МЛЭ ПЛЕНОК CdHgTe

Е.И. Фищич

Проведены электрофизические и оптические исследования дефектной структуры пленок CdHgTe, выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией (МЛЭ). Показано, что особенностью данных пленок является наличие нейтральных дефектов, формирующихся на стадии роста и присущих материалу, выращенному методом МЛЭ. Предполагается, что этими нейтральными дефектами являются наноконфлекссы Te. При ионном травлении они активируются междоузельной ртутью и формируют донорные центры с концентрацией $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$, что дает возможность обнаруживать эти дефекты с помощью измерений электрических параметров материала. При легировании CdHgTe мышьяком с высокотемпературным крекингом присутствующий в потоке мышьяка димер As_2 блокирует наноконфлекссы Te с формированием донорных комплексов As_2Te_3 . Результаты электрофизических исследований сравниваются с данными исследований, выполненных микрорамановской спектроскопией.

Ключевые слова: CdHgTe, нейтральные дефекты, ионное травление, микрорамановская спектроскопия.

NEUTRAL DEFECTS MBE FILMS CdHgTe

O. Fitsych

Electro-physical and optical investigations of defect structure of CdHgTe films grown by molecular-beam epitaxy (MBE) were carried out. It was shown that the films contained neutral defects, which were formed at the stage of the growth and were specific to MBE-grown material. It is suggested that the defects in question are tellurium nanocomplexes. Under ion milling, these defects are activated by interstitial mercury and form donor centers with concentration of $\sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, which makes it possible to detect them with the use of electrical measurements. It is shown also, that under arsenic doping of CdHgTe with high-temperature cracking, the dimers As_2 in the arsenic flux block formation of neutral Te nanocomplexes with formation of As_2Te_3 donor complexes. The results of electro-physical investigations are compared to these of micro-Raman spectroscopy.

Key words: CdHgTe, neutral defects, ion milling, micro-Raman spectroscopy.

УДК 629.113

О.І. Хитряк

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана П. Сагайдачного, Львів

ДИНАМІКА БОЙОВОГО МОДУЛЯ ІЗ НЕЛІНІЙНОЮ ПРУЖНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ПІДКРІПЛЕННЯ

Досліджуються кутові коливання бойового модуля, який розміщений на бойовій колісній машині за допомогою платформи із нелінійною пружною характеристикою підкріплення. Розглянуто автономний випадок, вплив сили опору. Представлено аналітичні методи побудови розв'язку відповідних моделей динаміки бойового модуля з використанням методу Ван-дер-Поля та періодичних Атеб-функцій. Отримані результати є передумовою до оцінки впливу кутових коливань на точність стрільби з ходу при русі по пересіченій місцевості та формування конструкторських рішень щодо зменшення цих коливань.

Ключові слова: динаміка бойового модуля, нелінійно-пружні елементи, Атеб-функції, методи збурень.

Актуальність досліджень та огляд основних результатів

Рух по бездоріжжю складає значну частину всього терміну експлуатації бойових колісних машин (БКМ). За таких умов мають місце безперервні коливання підресорених та невідресорених частин автомобіля, що передаються на бойовий модуль (БМ), який

транспортується. Це призводить до зменшення точності під час стрільби з ходу. Застосування систем стабілізації БМ із скорострільними малокаліберними гарматами на сучасних БКМ, є великим кроком вперед у підсиленні їх вогневої потужності. В той же час зростаючі темпи ведення сучасного бою вимагають високої мобільності військ, їх швидкого маневрування на полі бою. Це в свою чергу зумовлює необхідність