

6. Varyshchuk, V. Using a multimode polymer optical fiber as a high sensitivity strain sensor [Text] / V. Varyshchuk, Y. Bobitski, H. Poisel // Proc. of the 21st International Conference Mixed Design of Integrated Circuits & Systems, Lublin, Poland, 2014. doi: 10.1109/mixdes.2014.6872242
7. Lujo, I. Fiber-Optic Vibration Sensor Based on Multimode Fiber [Text] / I. Lujo, P. Klokoc, T. Komljenovic, Z. Sipus // Radioengineering. – 2008. – Vol. 17, Issue 2. – P. 93–97.
8. Rodriguez-Cobo, L. POF vibration sensor based on speckle pattern changes [Text] / L. Rodriguez-Cobo, M. Lomer, C. Galindez, J. M. Lopez-Higuera // Proc. SPIE 8421, 22nd International Conference on Optical Fiber Sensors, Beijing, China, 2012. – P. 4. doi: 10.1117/12.970625
9. Kingsley, S. A. Multimode optical fiber phase modulation and discrimination [Text] / S. A. Kingsley, D. E. N. Davies // Electron. Lett. – 1978. – Vol. 14. – P. 322–325.
10. Kajenski, P. J. Mode coupling and phase modulation in vibrating waveguides [Text] / P. J. Kajenski, P. L. Fuhr, D. R. Huston // Journal of Lightwave Technology. – 1992. – Vol. 10, Issue 9. – P. 1297–1301. doi: 10.1109/50.156882
11. El-Sherif, M. A. Optical response of sapphire multimode optical sensor for ceramic composite applications [Text] / M. A. El-Sherif, S. Hu, J. Radhakrishnan, F. K. Ko, D. J. Roth, B. Lerch // Proc. SPIE, 2072, Fiber Optic Physical Sensors in Manufacturing and Transportation, 244, Boston, 1993.
12. Radhakrishnan, J. Analysis on Spatial Intensity Modulation for Fiber-optic Sensor Applications [Text] / J. Radhakrishnan, M. A. El-Sherif // Optical Fiber Technology. – 1996. – Vol. 2, Issue 1. – P. 114–126. doi: 10.1006/ofte.1996.0013
13. Kotov, O. I. Registration of influence on optical fiber by mode-mode interference [Text] / O. I. Kotov, L. B. Liokumovich, S. I. Markov // Proc. of SPIE 5381, Lasers for Measurements and Information Transfer, Bellingham, February 19, 2004.
14. Kosareva, L. I. Two mechanisms of phase modulation in multimode fiber-optic interferometers [Text] / L. I. Kosareva, O. I. Kotov, L. B. Liokumovich, S. I. Markov, A. V. Medvedev, V. M. Nikolaev // Technical Physics Letters. – 2000. – Vol. 26, Issue 1. – P. 70–74. doi: 10.1134/1.1262745

*В даній роботі проведено аналіз основних параметрів безпроводного каналу передачі для мереж стандарту 802.11 Wi-Fi. Для цього, було запропоновано структуру каналу, яка враховує всі види завад, що мають суттєвий вплив на рівень потужності прийнятого сигналу на вході приймача. Крім цього, на основі аналізу параметрів середовища та каналу передачі, було отримано вираз для оцінки потужності сигналу на початку приймального тракту*

*Ключові слова: передача інформації, безпроводний канал, середовище передачі, завади, шуми, чутливість*

*В данной работе проведен анализ основных параметров для беспроводного канала передачи сетей стандарта 802.11 Wi-Fi. Для этого была предложена структура канала, учитывающая все виды помех, которые имеют существенное влияние на уровень мощности принимаемого сигнала на входе приемника. Кроме того, на основании анализа параметров среды и канала передачи, было получено уравнение для оценки мощности сигнала в начале приемного тракта*

*Ключевые слова: передача информации, беспроводной канал, среда передачи, помехи, шуми, чувствительность*

УДК 621.391.8

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31666

## ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ БЕЗПРОВІДНОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ СТАНДАРТУ 802.11 WI-FI

**Д. В. Михалевський**

Кандидат технічних наук, старший викладач

Кафедра телекомунікаційних

систем і телебачення

Вінницький національний технічний університет

Хмельницьке шосе, 95,

м. Вінниця, Україна, 21021

E-mail: adotq@ukr.net

### 1. Вступ

На даний час спостерігається значне впровадження та розгортання безпроводних мереж, як в Україні, так і світі. В першу чергу, цьому сприяє широка доступність та простота використання локальних безпроводних мереж для отримання доступу до інфокомунікаційних

послуг високої якості та стрімкий розвиток концепції інтернету речей.

Саме стрімке збільшення кількості таких мереж, приводить до виникнення ряду негативних факторів, які можуть суттєво погіршити передавальні характеристики безпроводних каналів передачі. Це, в свою чергу, забезпечує появу затримок та помилок під час

отримання доступу до послуг із великим об'ємом трафіку. Тому, є актуальним пошук нових методів та засобів для мінімізації впливу цих факторів. Один із таких напрямків – вдосконалення математичних моделей безпроводних мереж та їх каналів, які повинні максимально враховувати особливості середовища передачі.

## 2. Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми

Виконуючи аналіз існуючих наукових робіт можна сказати, що на даний час дослідження в області безпроводних технологій стандарту 802.11 [1] набувають все більшого поширення. Із них можна виділити наступні.

В роботі [2] було наведено основні характеристики безпроводних систем та наведено загальний вираз для потужності приймального сигналу. Поряд із дослідженнями стандартів 802.11 проводяться дослідження стандарту 802.16 [3]. Ці стандарти подібні між собою, а також для них характерна наявність однакових типів завдань у середовищі передачі. В роботі [4] було оцінено причини та наведено методи боротьби із міжканальними інтерференційними завданнями для багатопозиційних сигналів. В результаті чого було встановлено, що при використанні великої кількості підносійних, збільшується швидкість передачі в каналі, а також збільшуються вимоги до параметра сигнал/шум. Одним із вагомих факторів, що необхідно враховувати це тип модуляції.

В стандарті 802.11 використовується два види модуляції MPSK для низькошвидкісної передачі та QPSK для високошвидкісної передачі. Як показують дослідження [5, 6] одним із критеріїв ефективності передачі інформації є забезпечення відповідного рівня сигнал/шум.

Як відомо основним параметром який характеризує будь-який канал передачі є пропускна здатність [7]. Саме забезпечення цього параметра у певних межах та шляхи підвищення його, говорять про ефективність роботи каналу. З іншого боку розглядаючи безпроводні канали стандарту 802.11 Wi-Fi, можна спостерігати невеликий виділений частотний ресурс на якому розміщується велика кількість мереж, які використовують однакові канали для передачі інформації [8]. Особливо це стосується областей із високою складністю забудови та густиною населення (кількість мереж може досягати понад 50). В такому випадку, при співпадінні частотних каналів, інформаційні пакети кожної мережі займають часові проміжки між пакетами іншої мережі. Всі ці фактори приводять до виникнення завдань та зменшення параметра корисної пропускної здатності. Тому при розробці ефективних методів для оцінки параметрів безпроводних Wi-Fi мереж необхідно в першу чергу вирішити задачу побудови каналу, що враховує всі фактори, які впливають на величину пропускної здатності під час передачі корисної інформації.

## 3. Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є визначення параметрів тракту передачі, які мають вплив на характеристики про-

пускної здатності безпроводного каналу стандарту 802.11 Wi-Fi.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

а) дослідити загальну характеристику безпроводного каналу;

б) розробити структуру безпроводного каналу стандарту 802.11 із врахуванням максимально можливої кількості факторів, які мають вплив на характеристики передачі;

в) отримати вираз для оцінки потужності сигналу на вході приймача, на основі якого буде можливість проводити оцінку пропускної здатності каналу.

## 4. Побудова безпроводного каналу

Характеристику передачі сигналу для будь-якого безпроводного каналу в загальному випадку можна показати наступним чином [9]:

$$S(t) = a(t)A(t) + n(t), \quad (1)$$

де  $S(t)$  – передавальний сигнал;  $A(t)$  – приймальний сигнал;  $a(t)$  – коефіцієнт який враховує послаблення та завмирання передавального сигналу;  $n(t)$  – коефіцієнт який враховує наявність інших джерел випромінювання в каналі.

Коефіцієнти  $a(t)$  і  $n(t)$  є завданнями які діють у каналі та мають випадковий характер і впливають на якість передачі інформації.

З точки зору побудови безпроводних Wi-Fi мереж, канали передачі, для аналізу, можна представити як точки доступу та абонентські адаптери інтерфейси. Кожен такий пристрій містить як передавач так і приймач, які виконують обмін радіосигналами через середовище передачі, а також виконують роль перетворювачів інформації від мережних інтерфейсів у радіосигнали та навпаки.

Стандарт 802.11 в першу чергу описує каналний та фізичний рівні моделі OSI [10], тому, в найпростішому випадку враховуючи [9], побудову безпроводного каналу передачі, можна запропонувати як пару передавач та приймач, що показано на рис. 1.

На каналному рівні (підрівні LLC та MAC) та підрівні PLCP виконується завдання кодування, так званім каналним кодером (КК). Тут виконується формування кадру PPDU, який вміщує в собі службову та корисну інформацію для передачі. Підрівень PMD каналного рівня, перетворює двійкову послідовність у модульоване ВЧ коливання за допомогою квадратурного модулятора (М) та блока розширення спектру (БРС). Для стандартів 802.11n та вище використовується OFDM, а для нижчих – DSSS. На виході передавальної антени ( $A_{пл}$ ) формується сигнал  $S(t)$  та надходить у середовище передачі. Потужність сигналу передавача є наперед визначеною величиною та складає для стандарту Wi-Fi 100 мВт. Поряд із цим значенням внутрішні шуми електричних кіл передавача є незначними і ними можна нехтувати. Основні завдання що приводять до зміни та затухання сигналу діють у середовищі передачі.

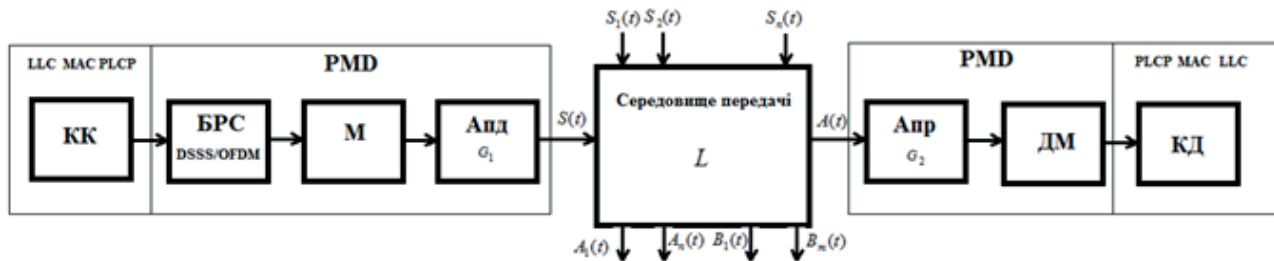


Рис. 1. Структура безпроводного каналу стандарту Wi-Fi

Перший тип завад описуються у формулі (2) як часова залежність  $a(t)$ . Цей вид завад характеризується зміною параметрів середовища під час передачі під впливом явищ природи. Сюди входить ефект багатопроменевого розповсюдження хвиль, що виникає під час руху абонента у будівлях із складною забудовою. В результаті чого в середовищі можуть виникати так звані максимуми та мінімуми напруженості електричного поля.

Другий тип завад  $n(t)$  описує завади які є самостійними джерелами випромінювання. На рис. 1 завади які мають природний характер, та завади від пристроїв інших систем передачі та побутових приладів, позначені як  $B_1(t)..B_n(t)$ . Їх, по суті, прийнято вважати шумами. Завади  $A_1(t)..A_n(t)$ , які вносять інші передавачі стандарту Wi-Fi  $S_1(t)..S_n(t)$  – вважаються інтерференційними завадами.

Приймальна частина виділяє корисний сигнал із середовища передачі  $A(t)$ , який є подібним до початкового сигналу  $S(t)$ . Цей сигнал надходить до приймальної антени ( $A_{пр}$ ) і потім виконуються зворотні функції перетворення відносно передавальної частини блоком демодулятора (ДМ). Таким чином на підрівні PLCP каналного декодера (КК) отримується кадр PPDU.

### 5. Оцінка параметрів безпроводного каналу

Основним параметром що впливає на швидкість передачі кадрів PPDU, а також на наявність у них помилок є рівень потужності прийнятого сигналу на вході приймача  $P_{RX}$ . Ця потужність залежить від потужності випромінювання передавача  $P_{TX}$  та параметрів середовища передачі. Тому тут можна застосувати рівняння взаємозв'язку цих потужностей які знаходяться на відстані один від одного, так зване рівняння бюджету каналу:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_1 + G_2 - L_{RX} - L_{TX} - L \text{ (дБ)},$$

де  $L_{RX}$ ,  $L_{TX}$  – затухання в антенно-фідерних пристроях приймача та передавача;  $G_1$ ,  $G_2$  – коефіцієнти підсилення антен передавача та приймача,  $L$  – втрати потужності сигналу в середовищі передачі.

Втрати потужності сигналу в середовищі передачі можна визначити за наступною формулою

$$L = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2 G_1 G_2 \eta_1 \eta_2},$$

де  $\eta_1, \eta_2$  – коефіцієнти корисної дії фідерів передавача та приймача;  $\lambda$  – довжина хвилі,  $d$  – відстань між антенами.

Враховуючи дослідження моделі Хата у [11] для стандарту 802.11 втрати потужності в умовах складних забудов можна записати так:

$$L = -27,6 + 20 \log(1000d) + 20 \log(f) + \text{fix}\left(\frac{1000d}{d_k}\right) L_n + k_f \left(\frac{k_f+2}{k_f+1}\right)^b L \text{ (дБ)},$$

$$k_f = \text{fix}\left(\frac{|h_2 - h_1|}{h_n}\right),$$

де  $d_k$  – довжина кімнати;  $L_n$  – втрати за рахунок внутрішніх стін;  $L_c$  – втрати за рахунок підлоги;  $b$  – емпіричний коефіцієнт;  $h_n$  – висота підлоги;  $h_2$  і  $h_1$  – висоти антен приймача та передавача;  $f$  – частота сигналу.

Враховуючи мобільність абонентів можна отримати залежність частоти сигналу від швидкості руху, так званий ефект Доплера. В мережах Wi-Fi як правило з'єднання може бути між двома абонентами безпосередньо, із використанням точки доступу, а також у мережі із багатьма точками доступу та ретрансляторами. В таких ситуаціях абоненти можуть бути як стаціонарними так і рухомими, і під час руху швидкість передачі може зменшуватись. Таким чином, залежність частоти сигналу від швидкості абонента можна записати так:

$$f_v = f \left( \frac{1 + \frac{v_{пр}}{c}}{1 - \frac{v_{нд}}{c}} \right),$$

де  $v_{пр}$  – швидкість передавача сигналу;  $v_{нд}$  – швидкість приймача сигналу;  $c$  – швидкість світла.

Також, одним із основних параметрів, що впливають на пропускну здатність безпроводного каналу передачі є рівень чутливості приймача. Вона визначає мінімально допустимий рівень сигналу при якому приймач може декодувати інформацію із заданою точністю або заданим рівнем сигнал/шум. В цифрових системах передачі сигнал/шум – відношення енергії сигналу  $E$  на 1біт інформації до густини потужності шумів  $P_{ш}$  [12]. Тоді, враховуючи побудову каналу на рис. 1 та формулу (1), відношення сигнал/шум можна записати наступним чином:

$$E/N = \frac{P_{RX}}{(P_m + P_i)R}, \quad (2)$$

де  $R$  – швидкість передачі інформації;  $P_i$  – потужність інтерференційних завад.

Величина  $P_m$  містить в собі як внутрішні шуми приймального тракту так і зовнішні шуми, які надходять із каналу передачі на приймальну антену. До шумів у каналі можна віднести шуми, джерелами яких є інші випромінювання на цих самих частотних каналах (побутові пристрої, безпроводні телефони, керуючі пристрої та системи контролю параметрів та інші), а також випромінювання навколишнього середовища (наприклад: температурний атмосферний шум, промисловий шум, космічний шум та інші).

Враховуючи [12], рівень шумів можна визначити за наступним виразом:

$$P_m = kT \left[ \left( \frac{k_m}{k_\phi} - 1 \right) + \left( \frac{1}{P_0} \sum_{i=1}^m P_i - 1 \right) \right], \quad (3)$$

де  $k$  – стала Больцмана;  $T$  – температура роботи приймача;  $k_m$  – коефіцієнт шуму приймального тракту;  $k_\phi$  – коефіцієнт передачі потужності фідера;  $P_i$  – потужність шумів завад  $V_m(t)$  середовища передачі;  $m$  – кількість завад у середовищі передачі;  $P_i$  – рівень теплового шуму Землі.

Інтерференція у безпроводних каналах передачі стандарту 802.11 – це сигнали від інших передавачів цього ж стандарту, які використовують однаковий частотний канал або частково перекривають його. При наявності великої кількості безпроводних мереж основним джерелом шуму є інтерференція. На практиці вплив інтерференції виникає при збільшенні навантаження на мережі при передачі великих об'ємів інформації, які використовують один той самий частотний канал.

Враховуючи те що інтерференційних джерел може бути  $S_1(t) \dots S_n(t)$ , то загальну потужність цих завад визначимо за наступним виразом:

$$P_m = \frac{G_2}{L_{RX}} \sum_{i=1}^n \frac{P_{c.c.i} G_{c.c.i}}{G_{\phi,i} L_{1,i} L_{3,i}}, \quad (4)$$

де  $L_1$  – послаблення в інтерференційному каналі;  $L_3$  – затухання в антенно-фідерному пристрої інтерференційного передавача;  $G_\phi$  – послаблення при мінімальній кутівій відстані між антенами,  $G_{c.c}$  – коефіцієнт підсилення антени суміжної інтерференційної станції,  $P_{c.c}$  – потужність сигналу суміжної станції;  $n$  – кількість інтерференційних станцій у межах зони покриття базової станції.

Таким чином, враховуючи формули (2)–(4), потужність на вході приймача прийме вигляд:

$$P_{RX} = (E/N) \left( kT \left( \frac{k_m}{k_\phi} + \frac{1}{P_0} \sum_{i=1}^n P_i - 2 \right) + \frac{G_2}{L_{RX}} \sum_{i=1}^m \frac{P_{c.c.i} G_{c.c.i}}{G_{\phi,i} L_{1,i} L_{3,i}} \right) R.$$

Наведений вище вираз показує, яку необхідно забезпечити потужність сигналу на вході приймача для забезпечення необхідної швидкості передачі.

Ще однією особливістю стандарту 802.11 є те що, для досягнення високої пропускної здатності використовується багаторівнева квадратурна модуляція. Саме цей тип модуляції має високу чутливість до параметрів каналу передачі. Використання високих порядків модуляції в першу чергу потребує жорстких вимог до параметра  $E/N$  приймача. Тому в такому випадку можна застосовувати відносний коефіцієнт чутливості:

$$P_n = P_\tau + k_m + E/N + K_p \text{ (дБ)},$$

де  $K_p$  – коефіцієнт запасу на виникнення явищ неідеальної побудови приймача.

На практиці одним із методів зменшення залежності швидкості передачі від  $E/N$  використовують технологію прямої корекції помилок (FEC). При цьому це потребує введення додаткової службової інформації, що з одного боку приводить до зменшення передачі корисної інформації, а з другого – розширення спектру передачі частотного каналу.

## 6. Висновки

Отже, в даній роботі проведено аналіз та визначено параметри тракту передачі інформації, для пари приймач-передавач стандарту 802.11 Wi-Fi, які мають вплив на характеристику пропускної здатності. На основі цього було отримано наступні результати:

а) встановлено що у безпроводному каналі основними факторами, що мають вплив на характеристику передачі є послаблення сигналу у середовищі передачі та наявність інтерференційних завад;

б) запропоновано розширену структуру безпроводного каналу стандарту 802.11, яка враховує інтерференційні та шумові завади, які приводять до зміни та затухання сигналу у тракці передачі.

в) отримано вираз для оцінки потужності сигналу на вході приймача, який дає можливість проводити оцінку необхідної швидкості передачі, що є базою для розробки ефективних методів оцінки та контролю безпроводних мереж стандарту 802.11 Wi-Fi.

## Література

1. IEEE Std 802.11n-2009. Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput [Text] / Int.2009-10-29. – New York : IEEE, 2009. – 536 p.
2. Семенко, А. І. Сучасний стан створення безпроводних телекомунікаційних систем [Текст] / А. І. Семенко // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2009. – № 645. – С. 56–67.
3. IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16-2004/Cor 1-2005 Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands [Text] / Int.2006-03-06. – IEEE, 2006. – 822 p.

4. Сундучков, А. К. Межканальная интерференция и метод оценки ее влияния на прием сигнала [Текст] / А. К. Сундучков, Е. А. Остроупская, Е. А. Фадеева, К. С. Сундучков // Электроника и связь. – 2010. – № 4. – С. 202–206.
5. Пелішок, В. О. Вибір виду модуляції для забезпечення основних вимог в безпроводних системах [Текст] / В. О. Пелішок // Наукові записки УНДІЗ. – 2009. – № 2 (10). – С. 25–31.
6. Васильев, В. Г. Технология широкополосного беспроводного доступа WiMAX стандарта IEEE 802.16-2004 [Текст] / В. Г. Васильев. – Юнидата, 2009. – 91с.
7. Михалевський, Д. В. Дослідження потужності сигналу приймачів стандарту Wi-Fi [Текст] : матер. між. наук.-практ. конф. / Д. В. Михалевський // Актуальные проблемы современной науки и пути их решения. – Знання України, 2014. – С. 29–31.
8. Wescott, D. A. CWAP Certified Wireless Analysis Professional Official Study Guide: Exam PW0-270 [Text] / D. A. Wescott, D. D. Coleman, P. Mackenzie, B. Miller. – Wiley Technology Pub., 2011. – 712 p.
9. Гепко, И. А. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития [Текст] / И. А. Гепко, В. Ф. Олейник, Ю. Д. Чайка, А. В. Бондарко // Киев: ЭКМО, 2009. – 672с.
10. IEEE Std 802.11-2007. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications [Text] / Int.2007-06-12. – IEEE, 2007. – 1076 p.
11. Карпов, А. В. Методика визначення загального рівня опромінення персоналу в сучасному інформаційному просторі [Текст] / А. В. Карпов, Г. Ф. Кнахович, Г. С. Конахович, Р. С. Одарченко // Наукоемні технології, Науковий журнал НАУ. – 2010. – № 2. – С. 116–121.
12. Мелихов, С. В. Оценка чувствительности радиоприемников с настренными антеннами [Текст] / С. В. Мелихов, В. А. Кологривов // Доклады ТУСУРа. – 2006. – № 6. – С. 63–67.

*В даній статті розглянуті фізичні основи способів створення структур кремній на ізоляторі (КНІ) та арсенідгалію на ізоляторі (АГНІ) різними методами. Основна увага надана методу «DeleCut» (ion irradiated Deleted oxide Out). Останній по суті справи є модифікацією відомого методу «SmartCut» і призначений для усунення недоліку базового методу*

*Ключові слова: метод DeleCut, метод SmartCut, К-МОН, багатозарядна імплантація, оксинітрид, азотна сушка*

*В данной статье рассмотрены физические основы способов создания структур кремний на изоляторе (КНИ) и арсенидгаллия на изоляторе (АГНИ) различными методами. Основное внимание уделено методу «DeleCut» (ion irradiated Deleted oxide Out). Последний, по сути дела, является модификацией известного метода «SmartCut» и предназначен для устранения недостатка базового метода*

*Ключевые слова: метод DeleCut, метод SmartCut, К-МОП, многозарядная имплантация, оксинитрид, азотная сушка*

## 1. Вступ

Метод DeleCut дозволяє суттєво знизити температуру відпалу та концентрацію радіаційних дефектів в структурах КНІ і АГНІ, зменшити товщину відсіченого шару кремнію чи арсеніду галію та перехідного шару між шаром (КНІ) або (АГНІ) і захованого оксиду (оксинітриду). Одночасно досягається збільшення однорідності товщини шарів КНІ або АГНІ і діелектрика (напівізоляваного напівпровідника) до декількох нанометрів.

Методами DeleCut та багатозарядною імплантацією створені структури КНІ з бездислокаційними ша-

рами КНІ товщиною 0,1–0,5 мкм із захованим оксидом (оксинітридом) (0,05–0,3 мкм) на пластинах Чохральського діаметром до 150 мм. Структури КНІ (АГНІ) мають високі електрофізичні характеристики, які підтверджуються виготовленням на них субмікронних (0,5–0,7 мкм) транзисторів КМОН та тестових інтегральних схем (тестових структур).

## 2. Аналіз досліджень і публікацій

Відомо що перехід від кремнієвих пластин, в тому числі з епітаксійним шаром, на структури КНІ при

УДК 621.382

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31582

# ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ КРЕМНІЙ- ТА АРСЕНІД ГАЛІЮ НА ІЗОЛЯТОРІ

**С. П. Новосядлий**

Доктор технічних наук, професор\*

E-mail: nsp@mail.pu.if.ua

**Л. В. Мельник**

Аспірант\*

E-mail: lj-3d@rambler.ru

\*Кафедра комп'ютерної

інженерії і електроніки

Прикарпатський Національний

університет ім. В. Стефаника

вул. Шевченка, 57,

м. Івано-Франківськ, Україна, 76025