

## Конструктивно-технологічні методи підвищення радіаційної стійкості запам'ятовуючого пристрою на базі МОН-ХСН

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

У даній роботі запропоновано три конструктивно-технологічні методи підвищення радіаційної стійкості запам'ятовуючого пристрою на базі МОН-ХСН. Суть першого методу зводиться до використання двошарового охоронного кільця, легування підзаслінного шару напівпровідника іонами флуора та застосування як підзаслінного шару діелектрика нітриду кремнію. Суть другого методу зводиться до застосування елементів розв'язки тонкоплівкових транзисторів на базі аморфних напівпровідників. А суть третього – використання як елементів розв'язки тонкоплівкових польових транзисторів на базі АН та елемента перемикачання на базі ХСН.

**Ключові слова:** запам'ятовуючий пристрій, аморфний напівпровідник (АН), радіаційна стійкість.

### Abstract

This paper proposes three design and technological methods to increase the radiation resistance of a storage device based on MOS-CGS. The essence of the first method is to use a two-layer protective ring, doping the undercurrent layer of the semiconductor with fluoride ions and the use of silicon nitride dielectric as the undercurrent layer. The essence of the second method is to use the decoupling elements of thin-film transistors based on amorphous semiconductors. And the essence of the third is the use of thin-film field-effect transistors based on AN and switching element based on CGS as isolation elements.

**Keywords:** storage device, amorphous semiconductor (AS), radiation resistance.

### Вступ

При розробці радіоелектронних компонентів, стійких до дії радіації розглядають два основних типи випромінювань:

- іонізуюча радіація, тобто рентгенівські та гамма-промені;
- нейтронне опромінювання.

Кожен із цих типів опроміненень по-своєму впливають на напівпровідникові компоненти та характеристики схем на їх базі [1].

Основним видом іонізуючої радіації є гамма-промені, дія яких приводить до утворення додаткових носіїв заряду, а також до підвищення температури. Іонізація, зумовлена гамма-променями, може вплинути на роботу схеми, а саме до появи фотоструму, повного порушення роботи транзисторів і погіршення поверхні ІМС.

Поява фотоструму є найбільш суттєвим фактором при дії іонізуючого опромінення. Дія імпульсу іонізуючого опромінення на р-п-перехід призводить до появи електронів та дірок у збіднених шарах емітерного та колекторного переходів. Носії, що утворюються в емітерному переході, дифундують через збіднений шар емітерного переходу, а ті, що утворюються в колекторному переході дрейфують через збіднений шар колекторного переходу. Внаслідок цих процесів через р-п-переходи протікають додаткові струми. Ці струми протікають на протязі дії імпульсу іонізуючого опромінення та їх величина зростає зі збільшенням опромінення та площі р-п-переходів. Утворення цих струмів може привести до порушення нормального режиму роботи п-р-п транзисторів. В цьому випадку для підвищення радіаційної стійкості використовують конструктивно-схемотехнічні методи для обмеження струму. Процеси появи цих струмів є зворотніми при умові, що струми, які виникають при дії опроміненень обмежуються шляхом введення зовнішніх схемних елементів. Крім цього, іонізуюче опромінення може привести і до незворотніх змін на межі розподілу між напівпровідником і діоксидом кремнію. Носії заряду, які утворюються на поверхні діелектричного шару діоксиду кремнію, будуть переміщуватись по поверхні і на межі розподілу можуть концентруватись позитивні заряди, що приводить до інверсії слабологованих р-областей біля поверхонь, при цьому може зростати швидкість поверхневої рекомбінації, та зменшується коефіцієнт передачі по струму [3]. Поверхневі явища особливо проявляються у випадку застосування МОН-транзисторів. Тому більшість біполярних схем можуть ефективно працювати при дії рівнів радіації до  $10^6$  рад/с, а мікросхеми на базі МОН-технологій – лише до  $10^4$  рад/с [2]. Тому метою цієї праці є розробка конструктивно-технологічних методів

підвищення радіаційної стійкості запам'ятовуючих пристроїв, у яких елементом розв'язки є МОН-транзистори та структурних рішень на базі лише аморфних напівпровідників.

### Методи підвищення радіаційної стійкості запам'ятовуючих пристроїв

Повне скидання опору  $R$  не залежить від напруги чи струму перемикавання. У більшості експериментів використовуються КП фірми Intel, що повністю переведені на рівень насиченого опору [3]. Варто відзначити, що структури з частковим перемиканням майже не мають залежності від напруги перемикавання, як показано на рисунку 2.

Для підвищення радіаційної стійкості запам'ятовуючих пристроїв на базі ХСН з використанням як елемента розв'язки уніполярних транзисторів пропонується конструктивно-технологічний метод, суть якого зводиться до застосування оптимальних технологій, а саме використання двошарового охоронного кільця, легування підзаслінного шару напівпровідника іонами флуора та застосування як підзаслінного шару діелектрика нітриду кремнію ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).

Двошарове охоронне кільце складається із плівки діоксиду кремнію та високолегованого кремнію домішками р-типу, тобто структура діелектрик-напівпровідник. При застосуванні епітаксіально-планарної технології, охоронне кільце на базі діоксиду кремнію формується на всю товщину епітаксіальної плівки. При формуванні другого шару охоронного кільця дифузія домішок р-типу проводиться на глибину порядку кількох мкм.

Нітрид кремнію, як підзаслінний шар діелектрика, використовується з метою зменшення порогової напруги, що є однією із важливих задач при узгодженні схем на базі біполярних та уніполярних електронних компонентів. Крім того зменшується рівень власних шумів.

Другим конструктивно-технологічним методом, який пропонується для підвищення радіаційної стійкості є застосування елементів розв'язки тонкопліткових транзисторів на базі аморфних напівпровідників.

Розглянемо більш детально суть запропонованого конструктивно-технологічного методу підвищення радіаційної стійкості запам'ятовуючого пристрою на базі МОН-ХСН технології.

Як вихідна використовується пластина Si-р типу провідності.

На першому етапі здійснюється вирощування монокристалевої плівки кремнію n-типу провідності, товщиною до 10 мкм.

На другому етапі на поверхні епітаксіальної плівки наноситься плівка нітриду кремнію товщиною до 1 мкм.

На третьому етапі формуються вікна для селективного травлення нітриду кремнію.

На четвертому етапі проводиться травлення кремнію на товщину порядку 50% від товщини епітаксіальної плівки.

На п'ятому етапі проводиться окислення кремнію в результаті якого зарощуються області, де мало місце травлення кремнію. Послідовність цих етапів відображено на рис. 1.

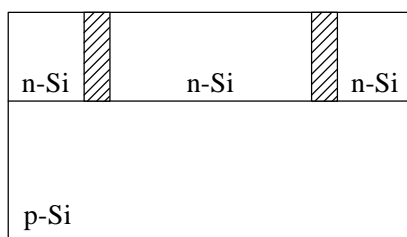


Рис. 1. Послідовність окислення кремнію

На шостому етапі після ретельної очистки виконуються традиційні технологічні операції, в результаті яких формуються вікна для проведення локальної дифузії домішок р-типу.

На сьомому етапі проводиться дифузія домішок р-типу з метою формування охоронного кільця, як показано на рис. 2.

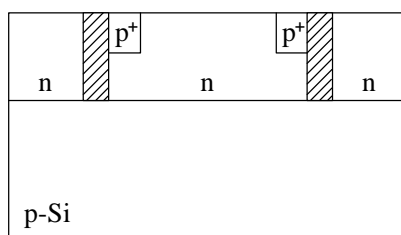


Рис. 2. Формування охоронного кільця

На наступних етапах проводяться традиційні операції, пов'язані з формуванням р-областей стока та витока та вікна для проведення іонної імплантації флуора. Геометричні розміри імплантованих областей відповідають геометричним розмірам майбутнього заслона. Після цього проводяться традиційні технологічні операції, як для звичайної МОН-технології. Для покращення параметрів МОН-транзистора, як підзаслінний шар слід використовувати нітрид кремнію, а як металевий електрод доцільно використовувати високолегований аморфний кремній або молібден, що дає можливість зменшити порогову напругу та рівень власних шумів.

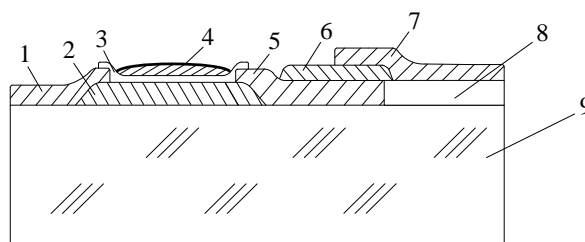


Рис. 3. Фрагмент структури ІМС елемента пам'яті на базі ХСН: 1 - електрод витоку; 2 – АН; 3 – підзаслінний шар діелектрика; 4 – металевий заслін; 5 – електрод стоку; 6 – плівка ХСН; 7 – металевий електрод; 8 – діоксид Si; 9 – діелектрична підкладка сапфір.

Третім, більш ефективним методом підвищення радіаційної стійкості запам'ятовуючих пристроїв є використання як елементів розв'язки тонкоплівкових польових транзисторів на базі АН та елемента перемикання на базі ХСН. Структура, яка дає можливість реалізувати цей метод наведена на рис. 3.

Послідовність технологічних операцій полягає в наступному. Як вихідна використовується діелектрична підкладка сапфіра або іншого матеріалу. На першому етапі на підкладку наносять шар АН. Потім виконують фотолітографію з метою формування вікон для травлення АН. На наступному етапі проводять операції, пов'язані з формуванням металевих виводів витоку та стоку. Після цього формують підзаслінний шар діелектрика і шар 8. На наступному етапі формують плівку ХСН та металевий електрод 7.

### Висновки

Запропоновано три конструктивно-технологічні методи підвищення радіаційної стійкості запам'ятовуючого пристрою на базі МОН-ХСН. Перший метод дозволяє зменшити власні шуми та порогову напругу електронних компонентів запам'ятовуючого пристрою, чим піднімає стійкість до радіаційного випромінювання звичайних радіоелектронних елементів. Другий метод також зводиться до зменшення власних шумів та порогової напруги електронних компонентів запам'ятовуючого пристрою, але вже замість легування підзаслінного шару діелектрика та використання діелектричної розв'язки застосовуються тонкоплівкові транзистори на базі аморфних напівпровідників. Третій метод дозволяє найкраще підняти радіаційну стійкість запам'ятовуючого пристрою за рахунок використання тонкоплівкових польових транзисторів на базі аморфних напівпровідників, як елементів розв'язки електронних компонентів запам'ятовуючого пристрою та елемента пам'яті на базі ХСН. Для кожного методу описана послідовність технологічних операцій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Prinzie J. Optimal Physical Implementation of Radiation Tolerant High-Speed Digital Integrated Circuits in Deep-Submicron Technologies / Jeffrey Prinzie, Karel Appels, Szymon Kulis // Electronics. - 2019. - Vol. 8, No. 4. - pp. 432. doi: 10.3390/electronics8040432.

2. Kyungsoo Jeong Radiation-Hardened Instrumentation Amplifier for Sensor Readout Integrated Circuits in Nuclear Fusion Applications / Kyungsoo Jeong, Duckhoon Ro, Gwanho Lee, Myounggon Kang and Hyung-Min Lee // Electronics. – 2018. – Vol.7, No. 12. – pp. 429. doi: 10.3390/electronics7120429.

3. Wong H.P., Raoux S., Kim S., Liang J., Reifenberg J.P., Rajendran B., Asheghi M. and Goodson K.E. (2010) PhaseChange Memory. Proceedings of the IEEE, Vol. 98, Iss. 12, pp. 2201-2227. DOI: 10.1109/jproc.2010.2070050.

**Василь Мартинович Кичак** – д. т. н., проф., завідувач кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vmkychak@gmail.com

**Іван Володимирович Слободян** – асистент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, e-mail: slobodyan.i.v@vntu.edu.ua.

**Віктор Леонідович Вовк** – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vovk.v.l@vntu.edu.ua

**Vasyl Martynovych Kychak** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, e-mail: vmkychak@gmail.com

**Ivan Volodymyrovych Slobodyan** – Assistant Professor of the Department of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, e-mail: slobodyan.i.v@vntu.edu.ua.

**Viktor Leonidovych Vovk** – Research Assistant of the Department of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, e-mail: vovk.v.l@vntu.edu.ua.