

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ В РАДІОЛОГІЧНИХ СЕНСОРАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація.

Проведено аналіз використання нанотехнологій у радіологічних сенсорах. Було продемонстровано будову та принцип роботи радіологічного сенсора. Зокрема, було детально розглянуто використання польових транзисторів у радіологічних сенсорах потужності дози, що здешевлює і робить більш доступним їх виробництво. Також були розглянуті результати дослідження та ефект застосування польових транзисторів у радіологічних сенсорах потужності дози.

Ключові слова: радіологічний сенсор, MOSFET, рентгенівське випромінювання.

Abstract.

An analysis of the use of nanotechnology in radiological sensors has been conducted. The structure and operation principles of the radiological sensor were demonstrated. In particular, the use of field-effect transistors in dose-power radiological sensors was thoroughly examined, which reduces production costs and makes them more affordable. The results of the research and the impact of field-effect transistors in dose-power radiological sensors were also discussed.

Keywords: radiological sensor, MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor), x-ray.

Вступ

Радіологічні сенсори використовуються для моніторингу рівнів радіоактивності в природному середовищі та виявлення радіоактивного забруднення. В атомних електростанціях та інших ядерних об'єктах радіологічні сенсори використовуються для виявлення витоків радіоактивних матеріалів, ця сфера стикається з питаннями безпеки та можливостями виникнення аварій. Використання радіологічних сенсорів є важливим для виявлення можливих загроз як терористичних атак, так і нелегального обігу радіоактивних матеріалів.

Однією з основних переваг використання нанотехнологій є їх потенціал для зменшення розміру та маси сенсорів, що робить їх ідеальними для портативних пристроїв і мобільних систем. Вони також можуть бути використані для створення мереж сенсорів для моніторингу в реальному часі радіації у великому радіусі її поширення, що допомагає уникнути наслідків в зв'язку з техногенними радіологічними аваріями.

Нанотехнології дозволяють створити енергоефективні сенсори, що споживають менше електроенергії, що важливо для автономних систем моніторингу та тривалих застосувань. Вони можуть бути легко інтегровані з іншими сучасними технологіями, такими як бездротові комунікації і зберігання даних в хмарі, що робить їх більш функціональними та ефективними.

Використання комерційних транзисторів загального призначення як гамма-детекторів було розширено в останні роки. Головною перевагою MOSFET, який виготовляється для вимірювання радіації, є низька вартість (порівняно з RADFET) і доступність. Однак, через їх низьку чутливість, для досягнення прийнятної продуктивності для використання як дозиметрів слід застосовувати методи більш високого підсилення та теплової компенсації.[1]

Аналіз

Сенсор - пристрій, який сприймає контрольований вплив (світла, тиску, температури), вимірює його кількісні та якісні характеристики і перетворює виміряні дані в сигнал. Сигнал

може бути електричним, хімічним або іншого типу. У більш загальному розумінні, сенсор - це комплексний пристрій на основі чутливого елементу, який може включати в себе підсилювач сигналу, лінеаризацію, калібрування, аналого-цифровий перетворювач та інтерфейс.

Більшість сенсорів є електричними, і це обумовлено наступними перевагами вимірювань на основі електричних параметрів: електричні сигнали зручно передавати на великі відстані і передача може відбуватися з високою швидкістю, електричні величини є універсальними, оскільки будь-які інші фізичні параметри можуть бути перетворені в електричні і навпаки, можливість використання цифрового коду, що забезпечує високу точність передачі інформації.

Сенсори можна класифікувати за кількома критеріями. Один із них - це тип вихідної величини, і основні групи сенсорів включають в себе електричні та неелектричні сенсори. Електричні сенсори поділяються на активні та пасивні. Активні сенсори – генераторні, можуть безпосередньо перетворювати вхідний сигнал в електричний. Пасивні сенсори, або ж параметричні, перетворюють вхідну величину в зміну відповідного електричного параметру сенсору, такого як опір, індуктивність чи ємність. Сенсори можна класифікувати за вхідними параметрами, такими як датчики тиску, датчики температури, датчики концентрації, датчики вологості, датчики положення, датчики радіоактивності, датчики переміщення, датчики вібрації та інші. Ще одним критерієм класифікації є принцип дії сенсора. В цьому відношенні існують різні види сенсорів, такі як магнітоелектричні, п'єзоелектричні, тензорезистивні, піроелектричні та багато інших.

У статті The X-ray Sensitivity of an Amorphous Lead Oxide Photoconductor[2] було розглянуто принцип роботи сенсора на основі рентгенівського детектора. Ескіз установки, на якій було розглянуто дослідження зображена на рисунку 1[2].

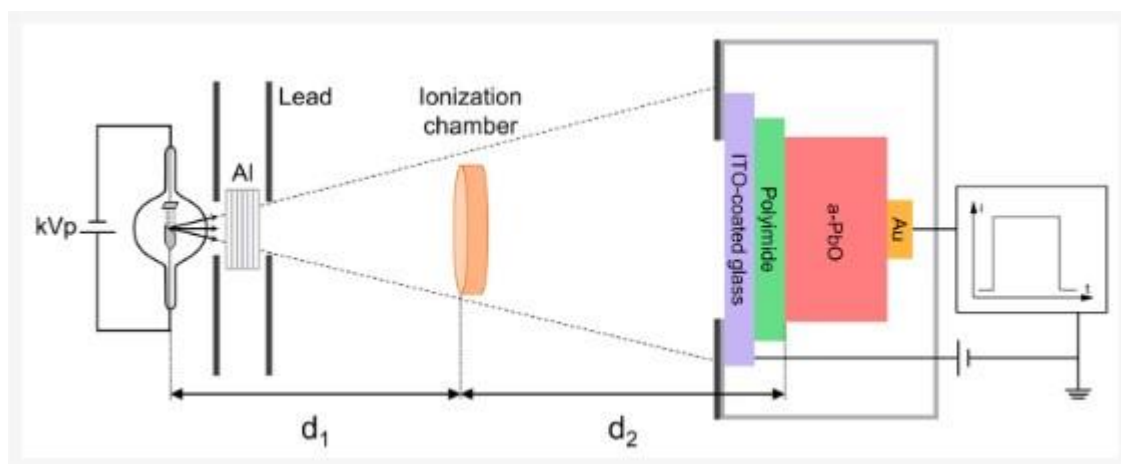


Рисунок 1. Ескіз експериментальної установки

Рентгенівську характеристику поданого детектора розглянуто за допомогою методу рентгенівського фотоструму. Для цього детектор був укладений в екрановану алюмінієву коробку з метою зменшення впливу зовнішнього випромінювання. Додатне зміщення постійного струму було здійснено за допомогою високовольтного джерела живлення, щоб створити сильне електричне поле у фотопровіднику. Фотострум, викликаний дрейфуючими носіями, зчитувався з електрода за допомогою осцилографа із власним вхідним опором. Після застосування додатного зміщення, тінювий струм у детекторі експоненційно зменшувався з часом через накопичення захопленого заряду в шарі блокування. Таким чином, зсув був прикладений до детектора протягом 15 хвилин до опромінення, щоб дозволити тінювому струму стабілізуватися та впасти до низького рівня.

Для генерації рентгенівських імпульсів використовувалась рентгенівська установка з вольфрамовою мішенню. 2-міліметрові свинцеві коліматори використовували для формування геометрії вузького променя та мінімізації розсіювання. Доданий фільтр алюмінію був поміщений в касету перед рентгенівською трубкою для посилення рентгенівського променя.

Опромінення контролюється дозиметром з іонізаційною камерою. Іонізаційна камера була розташована посередині між детектором і трубкою, щоб уникнути будь-якого впливу зворотного розсіяного рентгенівського випромінювання в результаті експозиції.

Опромінення проводилось рентгенівським імпульсом тривалістю 100 мс при різних прикладених електричних полях і напрузі на трубці 60 кВ. Без опромінення детектор створює лише темновий струм порядку кількох пікоампер. При рентгенівському опроміненні детектор виявляє квазіпрямокутний сигнал з рівномірною амплітудою. Фотострум зростає разом із електричним полем і починає насичуватися. Після припинення опромінення фотострум швидко падає до рівня тіншового струму, демонструючи майже незначну затримку сигналу.[2]

Польові транзистори широко використовуються в датчиках завдяки своїм унікальним характеристикам. Вони відзначаються високою чутливістю до впливу навіть при невеликих проявах. Зменшення геометричних розмірів польових транзисторів, що зв'язано з загальною тенденцією мікромініатюризації інтегральних схем, приводить до різкої відмінності їхніх властивостей від звичайних довгоканальних транзисторів.[3]

Розглянемо використання польових транзисторів як датчиків рентгенівського випромінювання. Два зразки MOSFET були введені в камеру опромінення одночасно, але опромінені один за одним. Кожен зразок був зовні з'єднаний незалежним кабелем із зовнішньою частиною іонізаційної камери через кабельний ввід. Всього було охарактеризовано чотири набори з трьох зразків з різними напругами зсуву під час опромінення. Кожен набір зразків був зміщений до 0 В, 1 В, 5 В і 10 В відповідно.

Блок зчитування, використаний у розглянутому дослідженні був системою, здатною зміщувати транзистор постійним струмом від 10 мкА до 1 мА з роздільною здатністю 60 нА. Він також здатний вимірювати напругу джерела з роздільною здатністю 0,1 мВ. Крім того, його можна налаштувати для постійного моніторингу, забезпечуючи напругу джерела в реальному часі, зміщуючи затвор транзистора зовнішньою напругою для покращення лінійності та чутливості. Крім того, температуру пристрою можна контролювати за допомогою паразитного діода, вбудованого в MOSFET. Для цього був розроблений сенсорний модуль, що складається з MOSFET моделі 3N163 і двох JFETs моделей MMBF4391. JFET_GD з'єднує та від'єднує клеми затвора та стоку MOSFET, а JFET_SD – клеми витоку та стоку. Він може бути налаштований у чотирьох станах, керованих напругою, що подається на клеми затвора JFET, які діють як перемикачі на рисунку 2.[1]:

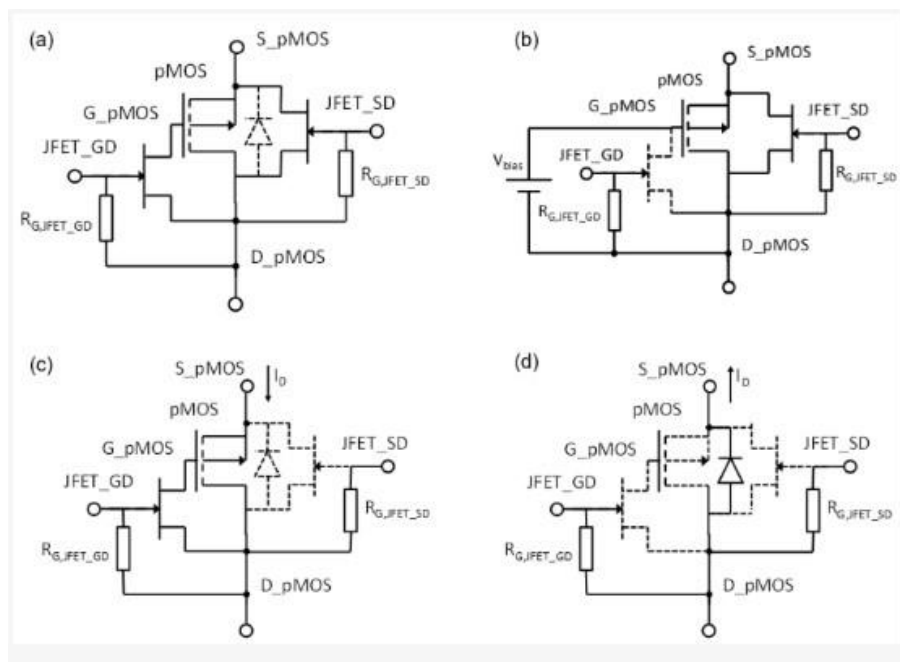


Рисунок 2. Конфігурації сенсорного модуля в різних станах: (а) Режим зберігання. (б) Режим зондування. (с) Зчитування V_S (д) Зчитування V_F .

Швидкий моніторинг потужності дози та картографування невідомого місця залежить від передбачуваної потужності дози та від геометрії та типу можливих середовищ, що підлягають дослідженню.[7]

Оскільки високе підсилення приблизно у вісім разів перевищує низьке підсилення, введення заряду для тесту на лінійність у режимах високого та низького підсилення здійснено за допомогою тестового імпульсу.[5] Запуски опромінення були заплановані викидами по 2 хв із забезпеченням середньої дози 13,4 Гр для низьких значень напруги зміщення та періоду відпочинку 8 хв між викидами. Після попереднього експериментального дослідження з урахуванням деградації чутливості сенсора зразки опромінювали до зміщення напруги джерела на 1 В. Щоб забезпечити не менше п'яти викидів опромінення на зразок, без зсувів джерела більше 1 В, час опромінення становив 1 хв для комплекту, зміщеного на 10 В, 1:40 для комплекту, зміщеного на 5 В, і 2 хв для 1 і 0 В з потужністю дози 6,7 Гр/хв. У цих експериментальних умовах кількість викидів для незміщених зразків (0 В) становила сім і п'ять для зразків зі зміщенням при 10 В. Завдяки високій дозі, що забезпечується в кожному викиді і чутливості датчика напруги джерела без підсилення V_s було достатньо щоб оцінити час спрацювання транзисторів. Чутливість на викид була розрахована з урахуванням лінійної залежності між зміщенням напруги джерела, виміряним тільки на початку та в кінці викиду і дозою. У цьому розрахунку завмирання не було враховано, тому MOSFET можна використовувати як дозиметр потужності дози. Використання детектора на польовому транзисторі (MOSFET) для дозиметрії було широко вивчено та добре зарекомендувало себе в терапії зовнішнім променем. [6]

Висновки

Використання радіологічних сенсорів в сучасному світі надзвичайно важливо з точки зору безпеки людей. Вони дозволяють вчасно виявляти та контролювати рівень радіаційного випромінювання в навколишньому середовищі, що особливо актуально при роботі з радіаційними матеріалами. Радіологічні сенсори є невід'ємною частиною медичних діагностичних систем, сприяючи точній інтерпретації зображень і полегшуючи роботу медичних працівників. Заходи безпеки для запобігання радіаційному опроміненню є важливими через ризик спричинених радіацією травм, таких як пошкодження шкіри у пацієнтів і катаракта у медичного персоналу.[4]

При розробці радіологічних сенсорних систем важливо керуватись не тільки параметрами чутливості та точності, але й вартістю і доступністю напівпровідникових матеріалів. Головною перевагою MOSFET, призначеного для вимірювання радіації, є його доступність та низька вартість порівняно з RADFET.

В розглянутому дослідженні було доведено, що використані зразки MOSFET є достатньо чутливими та більш дешевими аналогами для створення дозиметра потужності дози.

У підсумку, використання напівпровідників у радіологічних сенсорах має великий потенціал. Збільшення чутливості цих сенсорів, а також збільшення їх доступності допомагає більш детально розібратись з явищем радіаційного випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. J. A. Moreno-Pérez, I. Ruiz-García, P. Martín-Holgado. General Purpose Transistor Characterized as Dosimetry Sensor of Proton Beams. *Scientific journal Sensors* Volume 23, Number 7, 2023. – pp. 1-11. ISSN: 1424-8220. <https://doi.org/10.3390/s23073771>.
2. Oleksandr Grynko, Tristen Thibault, Emma Pineau. The X-ray Sensitivity of an Amorphous Lead Oxide Photoconductor. *Scientific journal Sensors* Volume 21, Number 21, 2021. – pp 1-19. ISSN: 1424-8220. <https://doi.org/10.3390/s21217321>.
3. Осадчук В.С., Осадчук О.В. О 72 Транзистори. Навчальний посібник — Вінниця: ВДТУ, 2003. — 207 с.
4. Kenshin Hattori, Yohei Inaba, Toshiki Kato. Evaluation of a New Real-Time Dosimeter Sensor for Interventional Radiology Staff. *Scientific journal Sensors* Volume 23, Number 1, 2023. – pp. 1-11. ISSN: 1424-8220. <https://doi.org/10.3390/s23010512>
5. Bobae Kim, Uk-Won Nam, Sunghwan Kim. A Study on the Performance of a Silicon Photodiode Sensor for a Particle Dosimeter and Spectrometer. *Scientific journal Sensors* Volume 21, Number 23, 2021. – pp. 1-10. ISSN: 1424-8220. <https://doi.org/10.3390/s21238029>

6. Lidia Strigari, Raffaella Marconi, Elena Solfaroli-Camilloci. Evolution of Portable Sensors for In-Vivo Dose and Time-Activity Curve Monitoring as Tools for Personalized Dosimetry in Molecular Radiotherapy. Scientific journal Sensors Volume 23, Number 5, 2023. – pp. 1-15. ISSN: 1424-8220. <https://doi.org/10.3390/s23052599>

7. Fabio Rossi, Luigi Cosentino, Fabio Longhitano. The Gamma and Neutron Sensor System for Rapid Dose Rate Mapping in the CLEANDEM Project. Scientific journal Sensors Volume 23, Number 9, 2023. – pp. 1-22. ISSN: 1424-8220. <https://doi.org/10.3390/s23094210>

***Ільчук Дмитро Русланович** – асистент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: demabels@gmail.com*

***Кочмала Владислав Богданович** – студент групи МНТ-206, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: fomkalokky@gmail.com*

***Ilchuk Dmytro Ruslanovych** - assistant of the Department of Information Radio Electronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: demabels@gmail.com*

***Kochmala Vladyslav Bogdanovych** – student, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: fomkalokky@gmail.com*