

Original article

In print article

<https://doi.org/10.26565/2222-5617-2022-36-01>

UDC 538.9 +537.5

PACS numbers: 73.40.Sx, 73.50.Fq

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ КОНТАКТНОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ НА ПРОЦЕСИ ШВИДКОГО ПЕРЕМИКАННЯ У СТРУКТУРАХ З БАЗОВИМ ШАРОМ ТЕЛУРИДУ КАДМІЮ

М.В. Кіріченко

kirichenko.mv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4847-506X>

А.М. Дроздов

<https://orcid.org/0000-0002-0818-1809>

Р.В. Зайцев

<https://orcid.org/0000-0003-2286-8452>

В.О. Нікітін

<https://orcid.org/0000-0003-1640-8986>

Г.С. Хрипунов

<https://orcid.org/0000-0002-6448-5938>

К.О. Мінакова

<https://orcid.org/0000-0002-8869-1082>

Д.С. Шкода

<https://orcid.org/0000-0002-3592-9755>

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, 61002 Харків, Україна

Надійшла до редакції 15 лютого 2022 р. Переглянуто 27 березня 2022 р.

Прийнято до друку 30 березня 2022 р.

Забезпечення електромагнітної стійкості сучасного радіоелектронного обладнання тобто здатності підтримувати робочі параметри під час і після дії імпульсного електромагнітного випромінювання різного походження є важливим питанням електронної техніки та фізики. Причиною нестабільної роботи електроніки під впливом ЕМ-імпульсів є те, що у ланцюгах виникають імпульси перенапруги, що призводять до руйнування електронних приладів на основі напівпровідникових матеріалів зазвичай внаслідок теплового пробою р-п переходу, або перегріву базових шарів напівпровідникових матеріалів. В наш час відомими є ефекти резистивного перемикавання які активно використовуються в сучасній електроніці, та можуть бути використані для створення елементів захисту електронної техніки від електромагнітних імпульсів із швидким наростанням фронту. Ефект резистивного перемикавання у телуриді кадмію був знайдений як у товстих (понад 100 мкм) монокристалічних шарах, так і спостерігається в тонких полікристалічних плівках. Дана робота спрямована на вивчення залежностей процесів перемикавання між станами з низькою і високою провідністю в плівках CdTe залежать від різних факторів, таких як товщина плівки, її початкова структура, потужність імпульсу перемикавання, властивості контактної металізації. Було виготовлено вакуумними методами серію тонкопліткових структур на основі CdTe які відрізнялись геометричними параметрами молібденової контактної металізації. Для дослідження можливого впливу геометрії контактної металізації на процеси швидкого перемикавання в структурах Мо - телурид кадмію – Мо було застосовано метод вимірювання та подальшої аналітичної обробки їх амплітудно-часових характеристик із використанням спеціально розробленого генератора на основі зарядової лінії, здатного генерувати електромагнітні імпульси наносекундної тривалості із тривалістю фронту наростання не більше 2 нс. Встановлено, що для експериментальних зразків які мали діаметр металізації 0,5 мм і 6 мм, спостерігались

подібні параметри - час перемикавання на рівні 1-2 нс, ідентичні значення напруги відсікання та характер його залежності від амплітуди імпульсу. Визначено, що геометрія контактної металізації не впливає на параметри перемикавання в структурах Мо - телурид кадмію – Мо, а значить в ході розробки елементів захисту від електромагнітних імпульсів на їх основі можна використовувати існуючу промислову технологію формування металевих шарів.

Ключові слова: імпульс, контактна металізація, телурид кадмію.

Як цитувати: Кіріченко М.В., Дроздов А.М., Зайцев Р.В., Нікітін В.О., Хрипунов Г.С., Мінакова К.О., Шкода Д.С. Дослідження впливу геометрії контактної металізації на процеси швидкого перемикавання у структурах з базовим шаром телуриду кадмію. Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Фізика», вип. 36, 2022; 7-13. <https://doi.org/10.26565/2222-5617-2022-36-01>

In cites: Kirichenko M.V., Drozdov A.M., Zaitsev R.V., Nikitin V.O., Khrypunov G.S., Minakova K.O., Shkoda D.S. Investigation of the influence of contact metallization geometry on the processes of rapid switching in structures with a base layer of cadmium telluride. The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Physics", Iss. 36, 2022; 7-13. <https://doi.org/10.26565/2222-5617-2022-36-01> (in Ukrainian).

ВСТУП

Однією з основних вимог, що пред'являються до сучасної радіоелектронної апаратури (РЕА) є висока надійність її функціонування в умовах впливу зовнішніх факторів. При цьому останнім часом все більша увага приділяється питанню електромагнітної стійкості, під якою мається на увазі властивість зберігати робочі параметри під час і після дії імпульсного електромагнітного випромінювання (ЕМВ) різного походження [1]. Проблема забезпечення електромагнітної стійкості РЕА обумовлена тим, що під впливом імпульсного ЕМВ в ланцюгах схем наводяться імпульси перенапруги, амплітудні значення, часи наростання і тривалість яких можуть змінюватися в широких межах, обумовлених багатьма факторами. Індуковані ЕМВ імпульсні перенапруги здатні чинити серйозну негативну дію на елементи апаратури (перш за все вхідних пристроїв) причому особливо схильні до руйнування під впливом ЕМВ напівпровідникові пристрої [2,3]. Це пов'язано як з властивостями р-п переходу так і зі специфікою теплопровідності напівпровідникових матеріалів. Коли напруга зворотнього зміщення переходу виявляється достатньою для реалізації лавинного пробою, в переході може виділитися велика кількість теплової енергії через прогресуюче накопичення якої температура може досягати значень, рівних точці плавлення напівпровідникового матеріалу, що викликає шунтування р-п переходу [4,5]. Зі зменшенням розмірів напівпровідникових приладових структур рівень енергії, необхідний для їх руйнування знижується і для інтегральних мікросхем становить від 10^{-3} Дж до 10^{-7} Дж.

В той же час в сучасній електроніці [6,7] активно застосовуються ефекти резистивного перемикавання, зокрема, на основі резистивного перемикавання в оксидах перехідних металів заснована робота мемристорів. Саме такий ефект резистивного перемикавання досить давно спостерігався також в CdTe, як на товстих (більше 100 мкм) монокристалічних шарах, так і в тонких полікристалічних плівках. В роботі [8] пропонується використання ефекту перемикавання під впливом оптичної

високочастотної генерації. Це дозволяє сподіватися на розробку на основі цих плівок оптично керованих над швидких ТГц пристроїв, таких як ТГц перемикач та ТГц модулятор для мікрохвильової фотоніки [9,10]. Іншим важливим застосуванням приладових структур з ефектами перемикавання є перспектива створення на їх основі елементів захисту РЕА від імпульсного електромагнітного випромінювання. В роботі [11,12] було досліджено ефекти перемикавання в плівках CdTe під дією електромагнітних імпульсів і експериментально встановлено, що шари CdTe товщиною від 3 до 7 мкм можуть бути використані для створення елементів захисту з часом перемикавання на рівні кількох наносекунд. На відміну від існуючих елементів захисту, заснованих переважно на використанні діодів, структури з плівкою CdTe не мають р-п переходу, тому вони є більш надійними та більш дешевими при виготовленні. Структури з плівкою CdTe можуть бути легко реалізовані на гнучких підкладках. Крім того, технологія одержання якісних плівок CdTe відпрацьована на високому промисловому рівні при виробництві сонячних елементів на основі CdS/CdTe [13], що дозволяє сподіватися на швидке впровадження нових приладових структур на основі цих плівок.

Процеси перемикавання між станами з низькою та високою електропровідністю в плівках CdTe залежать від різних факторів, таких як товщина плівки, її вихідний структурний стан, потужність імпульсу, який викликає перемикавання а також від властивостей контактів. Встановлення закономірностей цих залежностей дозволить доповнити теорію перемикавання та бістабільних станів в плівках CdTe. Додаткового інтересу питанню впливу саме властивостей (зокрема геометричних) контактів додає перехід у сучасній електроніці [14] від корпусного виконання деталей до планарної технології, коли всі прилади, що входять до складу елементу РЕА виконуються на друкованій платі. В цьому випадку можливість виконання контактної металізації за добре відпрацьованими промисловими технологіями буде додатковою перевагою.

У зв'язку з цим, метою даної роботи було дослідження впливу геометрії контактної металізації

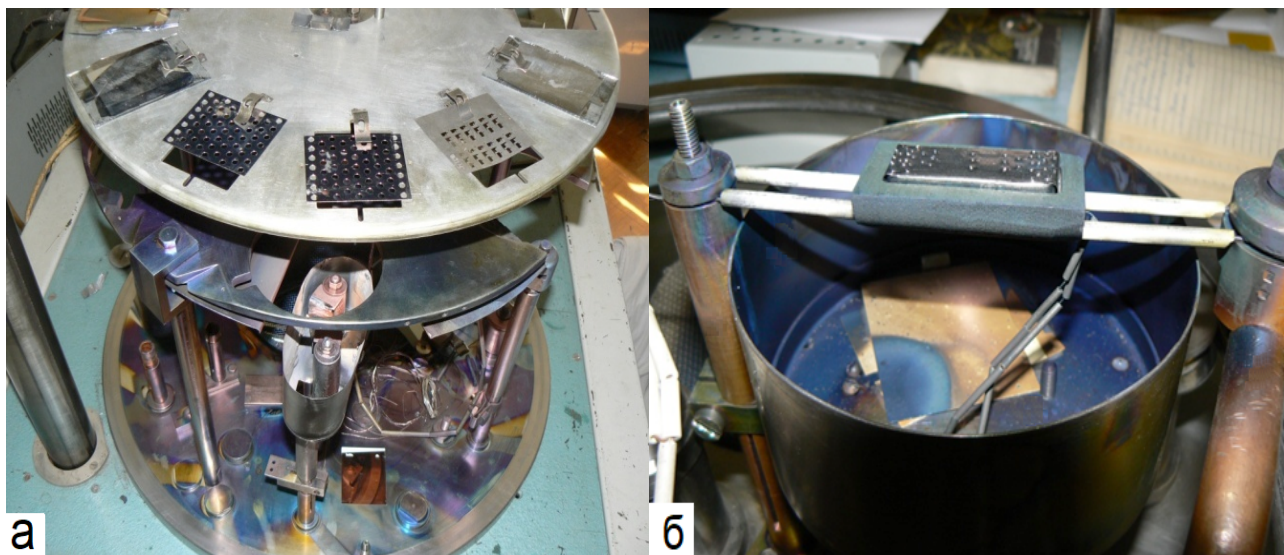


Рис. 1 Загальний вигляд вакуумної камери (а) та графітового тигля для осадження плівок телуриду кадмію (б).

Fig. 1 General view of the vacuum chamber (a) and the graphite crucible for the deposition of cadmium telluride films (b).

на амплітудно-часові характеристики перемикання тонкоплівкових структур на основі базових шарів телуриду кадмію.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

В роботі були досліджені дві групи тонкоплівкових зразків. Загальним етапом виготовлення було формування базових шарів телуриду кадмію. Для осадження базових шарів телуриду кадмію на підкладки з електролітично відполірованої молібденової фольги розміром 10 см × 10 см використовувався промислова вакуумна установка (рис.1а) та метод термічного вакуумного осадження (рис. 1б) з порошку чистоти 99,999% з розміром частинок 10 нм. Початковий вакуум становив $6 \cdot 10^{-6}$ мм. рт.ст., робочий тиск у вакуумній камері під час осадження підтримувався на рівні $1 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст. Для термічного випаровування телуриду кадмію використано графітовий тигель з непрямым нагріванням від двох нагрівачів з електричною ізоляцією (рис. 1б).

Температуру осадження телуриду кадмію контролювали за допомогою термопари, встановленої в об'ємі нагрівача, час нагрівання тигля до робочої температури (700 ± 750) °С становив від 260 до 275 сек. Точність контролю робочої температури тигля була не менше 5 °С.

Товщина осаджених шарів телуриду кадмію, визначена часом осадження, становила 3-10 нм. Для контролю товщини плівок телуриду кадмію використано кварцовий вимірювач товщини ККТ-40.

Контроль початкового електричного опору плівки телуриду кадмію здійснювали при температурі 20 °С за допомогою цифрового ампер-вольтметра MS8040.

Поряд із початковим електричним опором зразків на постійному струмі, також було досліджено їх електричну ємність за допомогою приладу вимірювання ємності L2-28 на частоті 10^7 Гц і при температурі 20 °С.

Зразки серій 1 та 2 представляли перехідний тип від корпусної конструкції попередньо досліджених у [11,12] зразків до спроби реалізувати планарну технологію, яка дозволить розміщувати елементи захисту РЕА безпосередньо на друкованих платах. Для зразків серії 1 та 2 після формування шару телуриду кадмію здійснювалося напилення магнетронним методом шарів контактної металізації товщиною 2 мкм. Металізація формувалася крізь металеву маску із отворами такого розміру, що діаметр електродів складав 6 мм (серія 1) та 0,5 мм (серія 2). Зовнішній вигляд зразків серії 1 та 2 наведено на рисунку 2.

Для мінімізації паразитної ємності та індуктивності було спеціально виготовлено контактний пристрій притискного типу с довжиною провідників не більше 1-2 см.

Характеристики перемикання зразків вивчали на випробувальному стенді із генератором наносекундних імпульсів [15-19] з наступними параметрами імпульсів напруги: амплітуда від 100 В до 1400 В з коефіцієнтом дії $2 \cdot 10^7$, час зростання імпульсу до амплітудної величини становив 2,5 наносекунди, імпульс напруги спадав експоненціально до 0,5 за час 100 наносекунд.

Для формування імпульсів із вказаними параметрами на основі схеми роботи генератора із зарядової лінією [20-22], виготовлено генератор наносекундних імпульсів.

Для дослідження процесів перемикання у тестових зразках було скомпоновано дослідницький стенд у

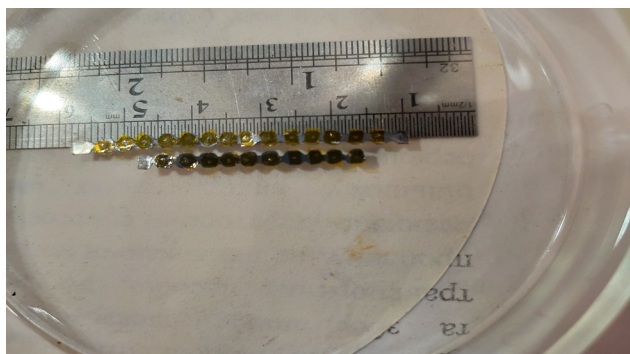


Рис. 2 Досліджувані зразки серій 1 та 2.

Fig. 2 Research samples of series 1 and 2.

складі генератора наносекундних імпульсів, цифрового осцилографу Siglent SDS 1202X-E та ноутбука, як це наведено на рисунку 3.

Приклад імпульсу котрий має параметри: тривалість імпульсу близько 30 нс, що обумовлено довжиною зарядової лінії (5 м, близько 5-6 нс на метр) та фронт зростання імпульсу складає близько 2,2-2,4 нс, що є достатнім для проведення цільових досліджень, наведено на рисунку 4.

Вольт-секундні характеристики процесу перемикавання зразків визначалися з експериментальних осцилограм, отриманих на цифровому осцилографі Siglent SDS 1202X-E. Експериментальні вольт-секундні характеристики одержані за вказаною методикою передавалися у вигляді таблиць на підключений до осцилографу ноутбук, після чого на здійснювалося їх аналітичне опрацювання за допомогою пакету Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати дослідження процесів перемикавання у плівках телуриду кадмію

Типовий вигляд осцилограми – вольт-секундної характеристики, зафіксованої після проходження крізь досліджувані зразки електромагнітного імпульсу, форма якого показана на рисунку 5.

Такі вольт-секундні характеристики, переведені у цифрову форму були вихідними масивами даних для



Рис. 3 Компонівка дослідницького стенду.

Fig. 3 Layout of the research stand.

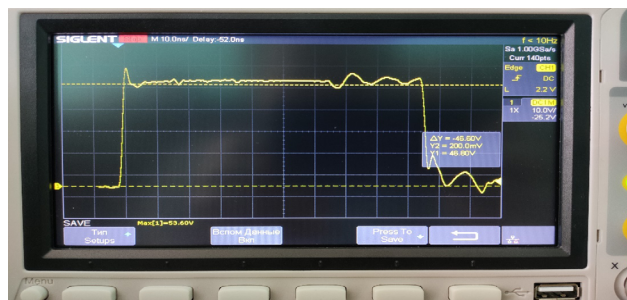


Рис. 4. Приклад одиночного імпульсу сформованого генератором наносекундних імпульсів.

Fig. 4 An example of a single pulse generated by a nanosecond pulse generator.

аналітичного дослідження особливостей проходження процесів перемикавання у тонких плівках телуриду кадмію.

Узагальнені результати аналітичного опрацювання експериментальних даних для досліджуваних зразків наведено на рисунку 6.

За результатами аналізу експериментальних амплітудно-часових характеристик, наведених у на рисунку 6 можна бачити, що для досліджуваних зразків величина напруги перемикавання, що не залежить від величини імпульсу, довільно змінювалося зі збільшенням амплітуди імпульсу, причому напруга спрацьовування знаходилася приблизно на половині амплітуди імпульсу і при цьому спостерігалось суттєве зменшення залишкової напруги до рівня 1,5-4 В.

Судячи з усього, зростання напруги спрацьовування обумовлено часом протікання інжекційних процесів [11,12] в телуриді кадмію і її зростання з ростом амплітуди імпульсу викликано тим, що під час експерименту реалізовано імпульс з дуже крутим фронтом на рівні 1-2 нс. При цьому крутизна імпульсу залишається незмінною з ростом амплітуди і тому ми спостерігаємо зростання напруги спрацьовування оскільки за один і той же час близько 2 нс імпульс з більшою амплітудою встигає зрости до більшої величини.

Для дослідженої серії зразків виготовлених у



Рис. 5. Вольт-секундна характеристика процесу перемикавання у плівці телуриду кадмію.

Fig. 5 Volt-second characteristics of the switching process in a cadmium telluride film.

планарній технології при якій електричний контакт із шаром телуриду кадмію реалізовано за рахунок напилення шару молібдену товщиною на рівні 2 мкм діаметром кілька міліметрів, контакт до якого здійснювався у спеціально виготовленому контактному пристрої притискного типу, що має мінімальну довжину з'єднувального провідника близько 1,5 см для усунення паразитного впливу ємності та індуктивності у провіднику.

Дослідження зразків з діаметром контакту 6 мм із застосуванням подібного контактної пристрою показали зменшення часу перемикання до значень близько 1,8 нс і значне зниження амплітуди імпульсу, який встигає пройти в ланцюг до перемикання.

Проведеними детальними дослідженнями на зразках серії 1 з електродом великої площі, встановлено що вони мають вельми малий час перемикання порядку 1 нс, а напруга відсічення, після якої відбувається спрацьовування досить невелика і змінюється від 5В при подачі 25 В імпульсу до 33-34 В при подачі імпульсу в 200 В.

Так само виявлено, що залежність відсічення від величини імпульсу носить лінійний характер.

Всі зразки за величиною напруги відсічення

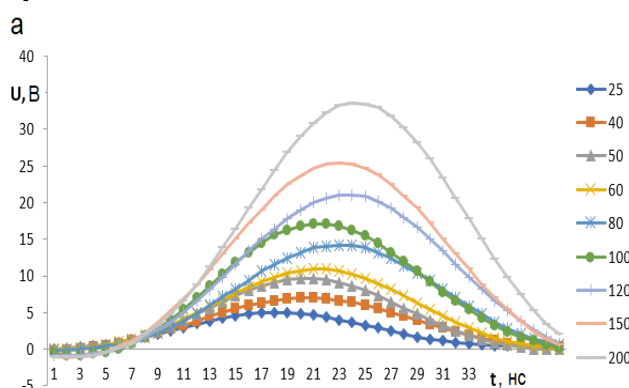
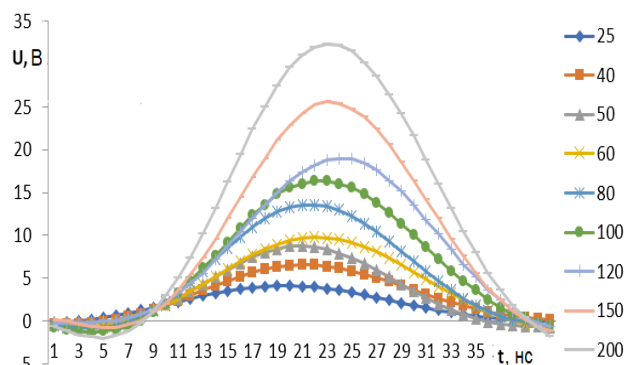


Рис. 6. Типові амплітудно-часові характеристики перемикання зразків серій 1(а) та 2 (б) при зміні максимальної амплітуди імпульсу від 25 до 200В.

Fig. 6 Typical amplitude-time switching characteristics of samples of series 1(a) and 2(b) when changing the maximum pulse amplitude from 25 to 200V.

дуже близькі один до іншого і демонструють хорошу стабільність за цим параметром а також за часом спрацьовування (перемикання).

Також для цих прикладів характерна дуже мала (1-2 В) залишкова напруга після перемикання, яке до того ж практично не залежить від величини поданого імпульсу.

Досліджені зразки виготовлені на єдиній підкладці (рис. 2) і для досліджень не розділялися на окремі елементи при цьому будь-якого взаємного впливу зразків виявлено не було. Також неодноразові перестановки зонда контактної пристрою з одного зразка на інший, їх переміщення, надання додаткового тиску на зонд не завдали деструктивного впливу на їх властивості та помітною деградації зразків виявлено не було.

На наступному етапі були досліджені зразки серії 2 з контактним електродом діаметром 0,5 мм в іншому аналогічній раніше дослідженим з електродом діаметром 6 мм для точного встановлення факту наявності або відсутності впливу величини контактної електроду на властивості потенційного елемента захисту.

За результатами дослідження зразків серії 2 встановлено, що за властивостями вони аналогічні зразкам з електродом великої площі - час перемикання на рівні 1-2 нс, аналогічні величини напруги відсічення і хід залежності напруги відсічення від амплітуди імпульсу.

Таким чином показано, що принципово розмір площадки контактної металізації не впливає на параметри перемикання приладів, що є дуже важливим висновком як з точки зору фізики так і для майбутньої адаптації подібних елементів захисту РЕА у наявну технологію виготовлення сучасних електронних пристроїв.

Наступним кроком у розвитку досліджуваних зразків має стати перехід від молібденового електроду, який внаслідок особливостей матеріалу важко піддається паянню або зварюванню до двошарової металізації молібден/мідь, що дозволить здійснювати комутацію елементів захисту у складі приладів РЕА за допомогою пайки або приварювання контактних провідників до електродів елемента захисту.

ВИСНОВКИ

1. У статті досліджено дві групи тонкоплівкових структур Мо – телурид кадмію – Мо під дією електромагнітних імпульсів наносекундної тривалості які вирізнялися геометричними параметрами контактної металізації.

2. За результатами аналітичного опрацювання експериментальних даних було встановлено, що

дослідні зразки із діаметром металізації 0,5 мм та 6 мм виконані за планарною технологією мають близькі параметри - час перемикавання на рівні 1-2 нс, аналогічні величини напруги відсічення і хід залежності напруги відсічення від амплітуди імпульсу.

3. Геометрія контактної металізації не справляє визначального впливу на параметри перемикавання досліджених структур та при виготовленні на їх основі

елементів захисту від електромагнітних імпульсів може бути використана промислова технологія формування металізації без необхідності її надмірної мініатюризації.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. C.N. Ghosh. Strategic Analysis, 2008, 24(7), 1333-1350(2008). <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2017.5.02>
2. V.V. Eremenko, V.A. Sirenko, I.A. Gospodarev, et al. Low Temp. Phys. 43(11), 1323 (2017).
3. R.V. Zaitsev, V.R. Kopach, M.V. Kirichenko, et. al. Functional Materials, 17(4), 554(2010).
4. O. Rezinkin, M. Rezinkina, A. Danyluk, et al. 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, (Ukraine, Kharkiv, 2019). <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8880015>
5. N. H. Halim, A. Azmi, Y. Yahya, et al. 5th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), (Shah Alam, Selangor, 2011). <https://doi.org/10.1109/PEOCO.2011.5970422>
6. E.V. Manzhelii, S.B. Feodosyev, I.A. Gospodarev, et. al. Low Temp. Phys., 41(7), 557(2015).
7. E.V. Manzhelii, V.I. Grishaev, Feodosyev, I.A. Gospodarev, et. al. Fiz. Nizk. Temp., 43(2), 322(2017).
8. Jiajia Guo, Peng Suo, Liping Liu, et al. Applied Optics, 58(30), 8200(2019). <https://doi.org/10.1364/AO.58.008200>
9. V.V. Eremenko, V.A. Sirenko, I.A. Gospodarev, et. al. Fiz. Nizk. Temp., 42(2), 134(2016). <https://doi.org/10.1063/1.4941004>
10. V. Eremenko, V. Sirenko, A. Dolbin, et. al. Solid State Phenomena, 257, 81(2017).
11. G.S. Khrypunov, V.O. Nikitin, O.L. Rezinkin, et al., Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 31, 3855(2020).
12. M.G. Khrypunov, R.V. Zaitsev, D.A. Kudii, et al. Journal of Nano- and Electronic Physics, 10(1), 01016(2018). [https://doi.org/10.21272/jnep.10\(1\).01016](https://doi.org/10.21272/jnep.10(1).01016)
13. M.V. Kirichenko, R.V. Zaitsev, A.I. Dobrozhan, et. al. 2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering, 108(Ukraine,2017).
14. T. Zhan, R. Yamato, S. Hashimoto, et al. Sci. Technol. Adv. Mater., 19(1), 443(2018). <https://doi.org/10.1080/14686996.2018.1460177>
15. T. Haryono, K. T. Sirait, T.H. Berahim International Conference on High Voltage Engineering and Application, 339(2008). doi: 10.1109/ICHVE.2008.4773942
16. W. Nunnally. IEEE Trans. Electron Devices, 37(2), 2439(1990). <https://doi.org/10.1109/16.64516>
17. E. M. Abdel-Salam, M. Khalifa. High Voltage Engineering, New York:Marcel Dekker, 519(2000). <https://doi.org/10.1201/9781482290035>
18. M. Lin, H. Liao, M. Liu, et al. Journal of Instrumentation, 13, 258(2018). <https://doi.org/10.1088/1748-0221/13/04/P04004>

REFERENCES

1. C.N. Ghosh. Strategic Analysis, 2008, 24(7), 1333-1350(2008). <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2017.5.02>
2. V.V. Eremenko, V.A. Sirenko, I.A. Gospodarev, et al. Low Temp. Phys. 43(11), 1323 (2017).
3. R.V. Zaitsev, V.R. Kopach, M.V. Kirichenko, et. al. Functional Materials, 17(4), 554(2010).
4. O. Rezinkin, M. Rezinkina, A. Danyluk, et al., 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, (Ukraine, Kharkiv, 2019). <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8880015>
5. N. H. Halim, A. Azmi, Y. Yahya, et al. 5th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), (Shah Alam, Selangor, 2011). <https://doi.org/10.1109/PEOCO.2011.5970422>
6. E.V. Manzhelii, S.B. Feodosyev, I.A. Gospodarev, et. al. Low Temp. Phys., 41(7), 557(2015).
7. E.V. Manzhelii, V.I. Grishaev, Feodosyev, I.A. Gospodarev, et. al. Fiz. Nizk. Temp., 43(2), 322(2017).
8. Jiajia Guo, Peng Suo, Liping Liu, et al. Applied Optics, 58(30), 8200(2019). <https://doi.org/10.1364/AO.58.008200>
9. V.V. Eremenko, V.A. Sirenko, I.A. Gospodarev, et. al., Fiz. Nizk. Temp., 42(2), 134(2016). <https://doi.org/10.1063/1.4941004>
10. V. Eremenko, V. Sirenko, A. Dolbin, et. al. Solid State Phenomena, 257, 81(2017).
11. G.S. Khrypunov, V.O. Nikitin, O.L. Rezinkin, et al., Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 31, 3855(2020).
12. M.G. Khrypunov, R.V. Zaitsev, D.A. Kudii, et al. Journal of Nano- and Electronic Physics, 10(1), 01016(2018). [https://doi.org/10.21272/jnep.10\(1\).01016](https://doi.org/10.21272/jnep.10(1).01016)
13. M.V. Kirichenko, R.V. Zaitsev, A.I. Dobrozhan, et. al. 2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering, 108(Ukraine,2017).
14. T. Zhan, R. Yamato, S. Hashimoto, et al. Sci. Technol. Adv. Mater., 19(1), 443(2018). <https://doi.org/10.1080/14686996.2018.1460177>
15. T. Haryono, K. T. Sirait, T.H. Berahim International Conference on High Voltage Engineering and Application, 339(2008). doi: 10.1109/ICHVE.2008.4773942
16. W. Nunnally. IEEE Trans. Electron Devices, 37(2), 2439(1990). <https://doi.org/10.1109/16.64516>
17. E. M. Abdel-Salam, M. Khalifa. High Voltage Engineering, New York:Marcel Dekker, 519(2000). <https://doi.org/10.1201/9781482290035>
18. M. Lin, H. Liao, M. Liu, et al. Journal of Instrumentation, 13, 258(2018). <https://doi.org/10.1088/1748-0221/13/04/P04004>

19. S.K. Rai, A.K. Dhakar. U.N.Pal, Rev Sci Instrum., 89(3), 033505(2018). <https://doi.org/10.1063/1.5017564>
20. M.V. Kirichenko, A.N. Drozdov, R.V. Zaitsev, et. al. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology, 38(Ukraine, Kharkiv, 2020). <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250146>
21. N. K. Nishore, P. Bhakta, R. K. Sharan, Electromagnetic Interference and Compatibility Proceedings of the International Conference, (1997). <https://doi.org/10.1109/ICEMIC.1997.669839>
22. S.M. Sze, K.K. Ng, Physics of Semiconductor Devices, 3rd edn., 832(2007).
19. S.K. Rai, A.K. Dhakar. U.N.Pal, Rev Sci Instrum., 89(3), 033505(2018). <https://doi.org/10.1063/1.5017564>
20. M.V. Kirichenko, A.N. Drozdov, R.V. Zaitsev, et. al. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology, 38(Ukraine, Kharkiv, 2020). <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250146>
21. N. K. Nishore, P. Bhakta, R. K. Sharan, Electromagnetic Interference and Compatibility Proceedings of the International Conference, (1997). <https://doi.org/10.1109/ICEMIC.1997.669839>
22. S.M. Sze, K.K. Ng, Physics of Semiconductor Devices, 3rd edn., 832(2007).

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CONTACT METALLIZATION GEOMETRY ON THE PROCESSES OF RAPID SWITCHING IN STRUCTURES WITH A BASE LAYER OF CADMIUM TELLURIDE

**M.V. Kirichenko, A.M. Drozdov, R.V. Zaitsev, V.O. Nikitin, G.S. Khrypunov,
K.O. Minakova, D.S. Shkoda**

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Ukraine, 61002, Kharkiv, Kyrpychova str., 2
kirichenko.mv@gmail.com*

Submitted February 15, 2022; Revised March 27, 2022; Accepted March 30, 2022

Ensuring the electromagnetic stability of modern electronic equipment, ie the ability to maintain operating parameters during and after the action of pulsed electromagnetic radiation of various origins is an important issue of electronic engineering and physics. The reason for the unstable operation of electronics under the influence of EM pulses is that overvoltage pulses occur in the circuits, which lead to the destruction of electronic devices based on semiconductor materials usually due to thermal breakdown of the p-n junction or overheating of base layers of semiconductor materials. Nowadays, the effects of resistive switching are known, which are actively used in modern electronics, and can be used to create elements to protect electronic equipment from electromagnetic pulses with a rapid increase in the front. The effect of resistive switching in cadmium telluride was found both in thick (over 100 μm) monocrystalline layers and observed in thin polycrystalline films. This work is aimed at studying the dependences of switching processes between states with low and high conductivity in CdTe films depend on various factors, such as film thickness, its initial structure, switching pulse power, contact metallization properties. A series of CdTe-based thin-film structures that differed in the geometric parameters of molybdenum contact metallization were fabricated by vacuum methods. To study the possible influence of contact metallization geometry on the processes of rapid switching in the structures Mo - cadmium telluride - Mo, the method of measuring and further analytical processing of their amplitude-time characteristics was used using a specially developed generator based on a charge line capable of generating three growth front not more than 2 ns. It was found that for experimental samples with a metallization diameter of 0.5 mm and 6 mm, similar parameters were observed - switching time at the level of 1-2 ns, identical values of the cut-off voltage and the nature of its dependence on the pulse amplitude. It is determined that the geometry of contact metallization does not affect the switching parameters in the structures Mo - cadmium telluride - Mo, so in the development of protection elements against electromagnetic pulses based on them can use existing industrial technology for forming metal layers.

Keywords: pulse, contact metallization, cadmium telluride.