

УДК 537.311.33

Павлюк С.П.¹, к.ф.-м.н., с.н.с.
Оберемок О.С.¹, к.ф.н., м.н.с.
Телега В.М. к.ф.-м.н., с.н.с.
Гандзюк В.І.¹, студ

S. P. Pavljuk¹, Ph.D
O. S. Oberemok¹, Ph.D.
V.M.Telega, Ph.D.
V. I. Handziuk¹, stud.

Ефект пам'яті в КСДІ структурах

Memory effect in SDI structures

¹ Київський національний університет імені
Тараса Шевченка, 03680, м. Київ, пр-т.
Глушкова 4г, e-mail: gandziuk2009@gmail.com

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv,
03680, Kyiv, Glushkova st., 4g, e-mail:
gandziuk2009@gmail.com

В роботі розглянуто ефект пам'яті, який виникає в напівпровідникових структурах, виготовлених за технологією «кремнієві структури з діелектричною ізоляцією» (КСДІ) при живленні їх двома послідовними імпульсами в режимі генератора напруги. Показано, що в цьому випадку на осцилограмах струму першого імпульсу виникає пік, вольт-амперна характеристика (ВАХ) набуває N-подібного вигляду, формується високопольова область, яка являє собою термічний градієнтно-дрейфовий (ТГД) домен. Ця область розташована перпендикулярно лініям протікання струму, визначає його величину і неоднорідний джоулів розігрів структури. Другий імпульс напруги «пам'ятає» тепловий профіль, параметри першого імпульсу і зразу формує N-подібну характеристику без піка струму. Дано пояснення отриманих результатів.

Ключові слова: інжекційні ефекти, неоднорідний джоулів розігрів, пам'ять, вольт-амперна характеристика

The memory effect, which appears in semiconductor structures, made by "silicon structures with dielectric isolation" (SDI) technology in two pulse power generator mode is investigated. It is shown that in this case the peak of current appears on the oscillogram of the first pulse of current and current-voltage characteristic (IV-curve) becomes N-shaped, high-field region, which is thermal gradient-drift (THD) domain is formed. This region is placed perpendicularly to the direction of current flow and determines its behavior. Also it causes non-uniform Joule heating. The second voltage pulse "remembers" the temperature shape and parameters of the first pulse and from its very beginning forms N-shape IV-curve without current peak formation. The explanation of obtained results is given.

Key Words: injection effects, non-uniform Joule heating, memory, IV-curve

Статтю представив д.ф.-м.н., проф. Скришевський В.А.

Вступ

При протіканні струмів великої густини крізь напівпровідникову КСДІ структуру відбувається її неоднорідний джоулів розігрів. Це призводить до виникнення термічного градієнтно-дрейфового домену [1]. Характерною ознакою цього є те, що на осцилограмі струму з'являється пік. ТГД домен – це вузька високопольова область, розташована перпендикулярно до напрямку протікання струму, з розмірами порядку одиниць мікрон [2]. Оскільки після виникнення домену майже вся прикладена потужність виділяється у вузькій

частині структури, то різкий неоднорідний розігрів призводить до змін характеристик структури або її руйнації.

Дослідження закономірностей виникнення та існування ТГД домену в КСДІ структурах є актуальними і можуть бути корисними для спеціалістів-фізиків та конструкторів напівпровідникових приладів.

Домен обмежує величину струму, що проходить крізь структуру, і формує N-подібну вольт-амперну характеристику. Докладно такі дослідження описано в роботах [1-3]. Виникненням або зникненням домену можна було керувати, створюючи градієнт температури певного знаку.

На експериментальних зразках, описаних в роботі [4], це легко було зробити, притискаючи до одного з контактів нагрівач. На КСДІ структурах це зробити неможливо.

Проте коли до структури прикласти два імпульси напруги з невеликою затримкою, то перший імпульс створить неоднорідний розігрів необхідного профілю, а другий імпульс відчує його вплив. Тобто реалізується «ефект пам'яті».

Метою даної роботи є дослідження ефекту пам'яті та впливу на нього різних режимів живлення структури.

Методика дослідження

Дослідження проводились за наступною методикою. До КСДІ структури прикладався перший імпульс напруги, і спостерігався імпульс струму. Коли на осцилограмі струму з'являвся пік, то це означало, що утворився ТГД домен. ВАХ набуває N-подібного вигляду.

Відповідно до [1], всередині структури виникає область підвищеної температури, яка має дзвоноподібну форму. В центрі структури температура максимальна, а в напрямку контактів вона зменшується. Якщо в цей момент вимкнути імпульс напруги, то в структурі фіксуються градієнти температури з різними знаками. І якщо після цього до структури прикласти другий імпульс напруги, подібний першому, то він буде діяти за умов, коли в структурі існує початковий градієнт температури.

Таким чином, проявляється ефект пам'яті, який призводить до того, що в другому імпульсі пік струму не формується, ВАХ стає N-подібною зразу, і формується ТГД домен.

Ефект пам'яті проявляється в тому випадку, коли затримка між першим та другим імпульсами є не більше, ніж час розповсюдження тепла від структури до підкладки, тобто не більше часу остигання структури.

Експериментальні результати

Експериментальні КСДІ структури докладно описано в роботі [2]. Це кремнієві дифузійні резистори, виготовлені за технологією КСДІ, симетричні $n^+ - n - n^+$ структури з електричними контактами з алюмінію (Al) до n^+ -областей. Вони розташовані в «кишенях», що відокремлені шаром SiO_2 завтовшки ≈ 2 мкм від підкладки з полікремнію товщиною 300 мкм. «Кишені»

мають різну глибину h_1 (від 2.8 мкм до 10.5 мкм). Довжина структур 2.4 мкм, ширина 9.8 мкм.

Осцилограми струму зображено на рис.1. Дослідження проводились в режимі генератора напруги, тобто $V = \text{const}$. На структуру подавали імпульс напруги з регульованою тривалістю та амплітудою і спостерігали імпульси струму. При напрузі $V = 5.3$ В на осцилограмі струму формувався пік (осц. 1, рис. 1).

Після першого імпульсу через час затримки $t_{\text{затр}} = 3,2$ мкс подавався другий імпульс напруги з амплітудою першого імпульсу. На осцилограмі струму другого імпульсу пік струму відсутній (осц. 2-1, рис. 1).

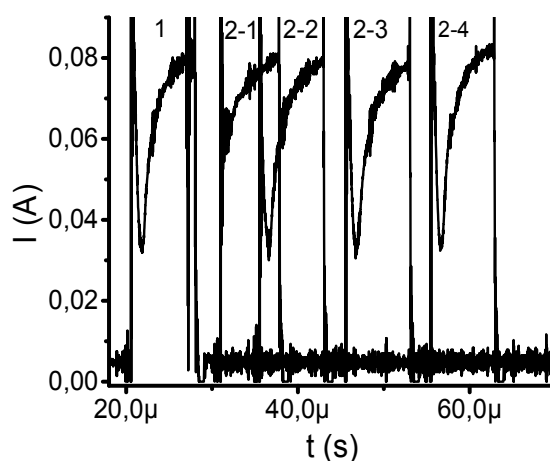


Рис.1 Осцилограми струму

При збільшенні часу затримки до 7 мкс на осцилограмі 2-2, рис. 1 з'являється невеликий пік струму. При збільшенні $t_{\text{затр}}$ до 17 мкс і 27 мкс (осц. 2-3, 2-4, рис. 1) другий імпульс не відчуває впливу першого імпульсу і повністю повторює його осцилограму. Ефект пам'яті відсутній.

Вольт-амперні характеристики показано на рис. 2. Вони побудовані за осцилограмами для моментів часу, коли струм досягає максимального значення $I_{\text{макс}}$ (крива 1, перший імпульс) та мінімального значення $I_{\text{мін}}$ (крива 2, перший імпульс).

ВАХ для другого імпульсу (момент $I_{\text{макс}}$) для різного часу затримки між першим та другим імпульсами показано відповідно кривими 3, 4 і 5. Як видно з графіків, у першому імпульсі після піку струму в момент $I_{\text{мін}}$ ВАХ має N-подібний вигляд (крива 2, рис. 2). ТГД домен сформовано. КСДІ структура розігріта неоднорідно.

ВАХ другого імпульсу для моменту $I_{\text{макс}}$ при затримці 3,2 мкс зразу має N-подібну форму (крива 3, рис. 2). Тобто за час досягання $I_{\text{макс}}$

домен вже сформовано, тому що структура «пам'ятає» неоднорідний розігрів від першого імпульсу.

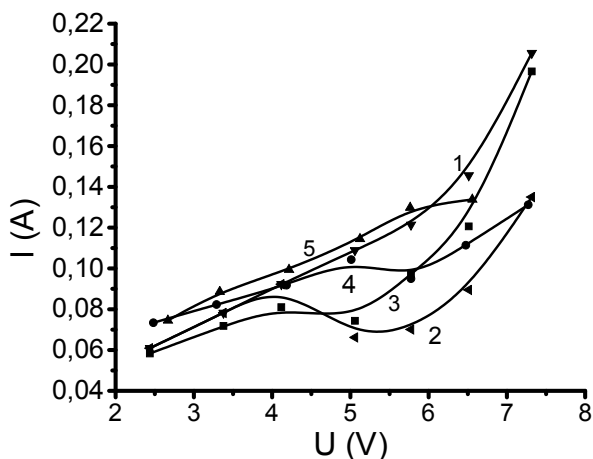


Рис.2 ВАХ, режим V - const

Збільшення затримки між першим та другим імпульсами призводить до того, що ВАХ для I_{\max} другого імпульсу наближається до ВАХ I_{\max} першого імпульсу. Вплив першого імпульсу на другий зменшується (крива 4, рис.2), а потім і зовсім зникає (крива 5, рис. 2).

Аналогічні дослідження проведено при живленні структури в режимі постійного струму. В експериментах дотримувалась вимога $I=\text{const}$. Також змінювали амплітуду імпульсів струму, фіксували падіння напруги на структурі. Осцилограми падіння напруги показано на рис.3.

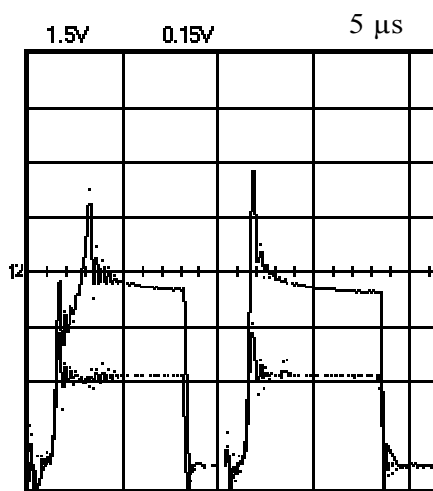


Рис. 3. Осцилограми падіння напруги

Як видно з осцилограм, при мінімальній затримці між імпульсами 3,2мкс ефекту пам'яті не спостерігається.

Другий імпульс падіння напруги практично повторює перший імпульс. ВАХ показано на рис. 4.

Як видно з графіків, ВАХ для $V_{\text{поч}}$ другого імпульсу (крива 2, рис.4) повторює ВАХ $V_{\text{поч}}$ першого імпульсу (крива 1, рис.4). Ефекту пам'яті також немає.

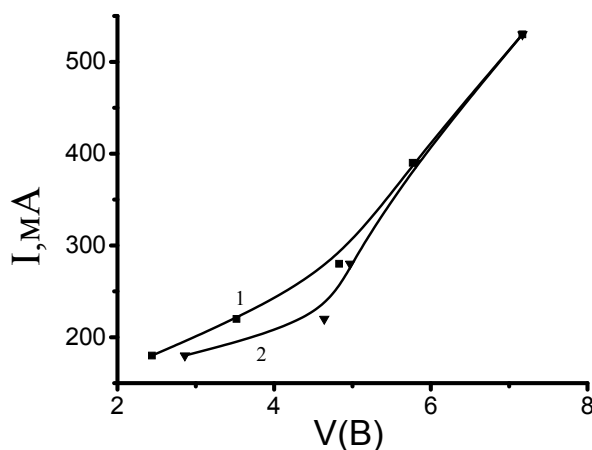


Рис.4 ВАХ, режим I - const

Аналіз отриманих результатів

Аналіз отриманих результатів показує, що ефект пам'яті існує в певному часовому інтервалі, який пов'язаний з часом остигання структури.

Час проходження тепла крізь товщину структури до підкладки можна оцінити за формулою

$$t_{\text{ост}} = \lambda c \rho l^2, \quad (1)$$

де λ - теплопровідність, c - теплоємність, ρ - густина.

Розрахунок $t_{\text{ост}}$ для КСДІ структури з товщиною 9.8 мкм складає 12 мкс та співпадає з експериментальними даними.

За час затримки між імпульсами в 3,2 мкс другий імпульс відчуває сильний вплив першого, пік струму відсутній, ефект пам'яті максимальний. При затримці другого імпульсу в 7 мкс вплив першого на другий імпульс вже менший, а при затримці в 17 мкс та 27 мкс зовсім відсутній. Такий результат пов'язаний з тим, що структура остигла зовсім.

Ефект пам'яті існує тільки при живленні структури в режимі генератора напруги. В

такому режимі утворюється ТГД домен, що являє собою високопольову область, яка розташована перпендикулярно до напрямку протікання струму і ефективно впливає на цей процес.

При живленні структури в режимі генератора струму ефекту пам'яті не спостерігається.

В структурі спочатку виникає високопольова область, яка стимулює виникнення шнура струму, який розташований вдовж напрямку його протікання. Така конфігурація не призводить до виникнення градієнтів температури вздовж напрямку протікання струму та виникнення ефекту пам'яті.

Список використаних джерел

1. Добровольский В.Н. Термический градиентно-дрейфовый домен в электронно-дырочной плазме германия / В.Н. Добровольский, С.П. Павлюк // Физика и техника полупроводников, **15** – 1981. – № 1. – с. 120-129.
2. Гандзюк В.І. Инжекційні ефекти в кремнієвій симетричній $n^+ - n - n^+$ структурі при живленні в режимі генератора напруги / В.І. Гандзюк, С.П. Павлюк, О.С. Оберемок // Вісник Київського університету – Сер. Фіз.-мат. Науки. – 2014. – № 1. – с. 221-224.
3. Добровольский В.Н. Инжекционные эффекты в неоднородно разогретом кремнии / В.Н. Добровольский, С.П. Павлюк, А.В. Романов // Физика и техника полупроводников, **15** – 1981. – № 2. – с. 411-414.
4. Добровольский В.Н. Дрейф электронно-дырочной плазмы вызванный градиентами подвижностей носителей заряда / В.Н. Добровольский, С.П. Павлюк // Физика и техника полупроводников, **11** – 1977. – № 7. – с. 1377-1380.

Висновки

Ефект пам'яті спостерігається в структурах, коли градієнт температури формується вздовж напрямку протікання струму.

Він виникає тільки при живленні структур в режимі генератора напруги. В цьому випадку виникає ТГД домен та неоднорідний поперечний джоулів розігрів зразка.

В режимі живлення генератором струму в структурі спочатку виникає високопольова область. У ній виникає шнур струму, який розташований вдовж напрямку його протікання. Така конфігурація не призводить до виникнення градієнтів температури вздовж напрямку протікання струму та виникнення ефекту пам'яті.

References

1. DOBROVOLSKY, V. & PAVLIUK, S (1981) Termicheskiy gradiyentno-dreyfovyy domen v elektronno-dyrochnoy plazme germaniya *Fizika i Tehnika Polyprovodnikov*. 15 (1). P.120-129.
2. GANDZIUK, V. & PAVLIUK, S. (2014) Inzheksiyni efekty v kremniyeviy symetrychniy $n^+ - n - n^+$ strukturi pry zhyvlenni v rezhymi heneratora napruhy *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics*. 1. p.221-224.
3. DOBROVOLSKY, V., PAVLIUK, S. & ROMANOV, A. (1981) Inzheksionnyye efekty v neodnorodno razogretom kremnii *Fizika i Tehnika Polyprovodnikov*. 15 (2). P.411-414.
4. DOBROVOLSKY, V. & PAVLIUK, S. (1977) Dreyf electronno-dyrochnoy plasmy vyzvanny gradiyentami podvizhnostey nositeley zaryada *Fizika i Tehnika Polyprovodnikov*. 11 (7). p.1377-1380.

Надійшла до редколегії 1.10.2014