



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **108830** (13) **C2**  
(51) МПК (2015.01)  
**G11C 29/00**

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

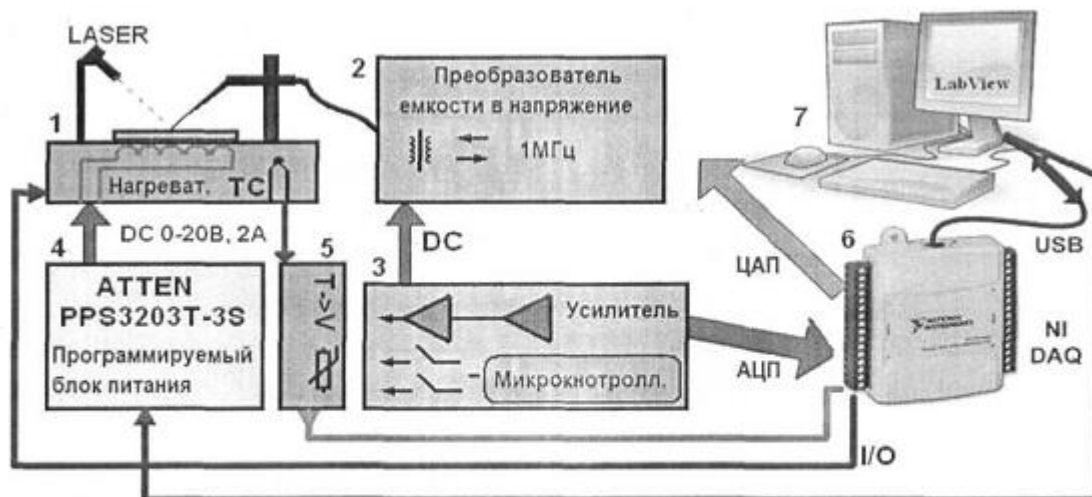
<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2014 13347</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Євтух Валерій Анатолійович (UA),</b> <b>Назаров Олексій Миколайович (UA),</b> <b>Лисенко Володимир Сергійович (UA),</b> <b>Турчаніков Віктор Іванович (UA),</b> <b>Локшин Михайло Маркович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>12.12.2014</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>10.06.2015</b>	
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заяву: <b>25.03.2015, Бюл.№ 6</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>Євтух Валерій Анатолійович,</b> вул. Жмеринська, 28, кв. 133, м. Київ, 03148 (UA), <b>Назаров Олексій Миколайович,</b> Кловський узвіз, 12, кв. 40, м. Київ, 01021 (UA), <b>Лисенко Володимир Сергійович,</b> вул. Тарасівська, 20, кв. 14, м. Київ-33, 01033 (UA), <b>Турчаніков Віктор Іванович,</b> вул. Депутатська, 17/6, к. 85, м. Київ, 03115 (UA), <b>Локшин Михайло Маркович,</b> вул. Пирогова, 4/26, кв. 9, м. Київ, 01030 (UA)
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.06.2015, Бюл.№ 11</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 6445614 B1, 03.09.2002, US 2013/0114337 A1, 09.11.2011, US 2014/0036609 A1, 06.02.2014, US 2010/0262875 A1, 14.10.2010, US 2010/0194406 A1, 05.08.2010, US 2009/0003099 A1, 01.01.2009, US 6091652 A, 18.07.2000, RU 2028697 C1, 09.02.1995,

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОСТІЙНОЇ ЧАСУ ЗБЕРІГАННЯ ЗАРЯДУ ДІЕЛЕКТРИКОМ У КОМІРКАХ НАНОКРИСТАЛІЧНОЇ ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНОЇ ПАМ'ЯТІ ЗІ СТРУКТУРОЮ МЕТАЛ-ДІЕЛЕКТРИК-НАПІВПРОВІДНИК

### (57) Реферат:

Винахід належить до галузі напівпровідникової техніки, а саме енергонебезалежної пам'яті. Спосіб визначення постійної часу зберігання заряду діелектриком комірок нанокристалічної енергонебезалежної пам'яті зі структурою метал-діелектрик-напівпровідник полягає у вимірюванні вольт-фарадної характеристики комірки пам'яті з максимальною амплітудою напруги, визначенні мінімальної ємності комірки та визначенні ємності пласких зон. Після чого програмують комірку подачею імпульсу, періодично вимірюють напругу пласких зон, визначають часову залежність напруг пласких зон та визначають постійну часу зберігання заряду шляхом апроксимації залежності напруги пласких зон. Технічним результатом винаходу є підвищення швидкості та точності визначення часу зберігання в приладах пам'яті із складною формою часової залежності напруг пласких зон.

UA 108830 C2



Мал. 2

Блок-схема комп'ютеризованої експериментальної установки, на якій застосований запропонований авторами спосіб.

Останнім часом на ринку напівпровідникових технологій спостерігається стрімкий розвиток приладів енергонезалежної пам'яті, побудованих на різних фізичних принципах. Так, стандартна кремнієва енергонезалежна пам'ять з плаваючим затвором, виконаним у вигляді полікремнієвого тетраедра в шарі діелектрика МДН транзистора, має складності до подальшого

розвитку через наявність фізичних обмежень до масштабування, підвищення швидкодії та надійності. Одним з напрямків еволюції такої пам'яті є нанокристалічна енергонезалежна пам'ять, де плаваючим затвором є окремі нанокристали, об'єднані в двовимірний масив в шарі діелектрика. Така конструкція має наступні переваги:

- можливість до подальшого масштабування аж до одного нанокластера на комірку;
- зменшення енергоспоживання приладу пам'яті та зменшення робочих напруг;
- підвищення надійності зберігання інформації за рахунок електричної ізоляції нанокластерів між собою, що у випадку електричного пробоя діелектрика, не призведе до втрати інформації коміркою;
- підвищення швидкодії роботи пам'яті за рахунок зменшення кількості заряду, що бере участь у програмуванні та наявності сильних локальних полів, спричинених нанорозмірністю об'єктів.

Створення нових видів пам'яті супроводжується застосуванням нових матеріалів та технологій виготовлення діелектричних шарів.

Під час відлагодження технологічних режимів та визначення характеристик створеного приладу пам'яті, є необхідним експрес контроль характеристик пам'яті, зокрема часу зберігання накопиченого заряду діелектриком МДН структури (charge retention life-time), який є однією з найбільш важливих характеристик приладів нанокристалічної пам'яті. Час зберігання заряду коміркою пам'яті відповідає часу утримування логічного стану "1" або "0" після операції відповідно запису або стирання.

Відомий метод прискореного вимірювання часу зберігання заряду - Аналог 1[1]. Метод включає тестування комірок енергонезалежної пам'яті та дозволяє оцінити час зберігання заряду протягом короткого часу експерименту. На затвор комірки пам'яті послідовно подаються напруги зміщення від'ємної полярності і вимірюються порогові напруги. Результат відображає залежність тривалості зберігання заряду від величини прикладеної на затвор напруги зміщення. Зрештою, використовуючи вибраний розкид порогових напруг, визначається час зберігання енергонезалежною пам'яттю.

В роботі [2] запропоновано метод визначення якості зберігання даних комірками енергонезалежної пам'яті по величині струму стікання - Аналог 2. Струм стікання залежить від абсолютного значення напруги плаваючого затвору і спочатку визначається під час операції зчитування попередньо запрограмованої комірки. Далі комірка стирається напругою, більшої амплітуди, ніж спочатку, та піддається відпалу. Вимірюється струм стікання під час прикладення на затвор напруги зчитування з меншою амплітудою, ніж у першому випадку. Аналізується різниця струмів стікання і робиться висновок про відповідність комірки параметрам. Час зберігання можна оцінити за формулою  $T_{ret} = Q_{fg} / i_{leak}$ , де  $Q_{fg}$  - заряд, накопичений плаваючим затвором під час операції запису,  $i_{leak}$  - струм стікання, який був виміряний згідно з описаним методом.

Загальними недоліками методів наведених в аналогах є:

1) Застосовність методу лише для МДН транзисторів з плаваючим затвором, що вимагає завершеного технологічного циклу для можливості перевірки характеристики часу зберігання.

2) Методи пропонують вимірювання порогової напруги і струму стікання як величини, які характеризують поточну кількість заряду в діелектрику МДН транзистора, проте таке вимірювання супроводжується прикладанням розгортки по напрузі на затвор структури, що може вплинути на динаміку стікання заряду.

3) Точність визначення часу зберігання заряду на транзисторних зразках пам'яті може мати значну похибку за рахунок неправильної технології виготовлення або режимів роботи каналу транзистора.

Найбільш близьким аналогом винаходу є ПРОТОТИП [3], автори якого пропонують метод прискореного вимірювання часу зберігання заряду для приладу енергонезалежної пам'яті з суцільним плаваючим затвором в діелектрику МДН транзистора. Попередньо виконується циклічний перезапис комірки пам'яті 100 разів та нагрів до температури 125°. Далі вимірюється зміна в часі порогової напруги комірки пам'яті, яка пропорційна кількості заряду, накопиченого у плаваючому затворі. Вимірювання часової залежності порогової напруги виконується щонайменше 2 рази при різних електричних напругах на затворі транзистора пам'яті. Напруги вибираються такими, щоб бути меншими, ніж напруги запису, стирання і читання комірки

пам'яті. Часом зберігання заряду вважається час, за який накопичений заряд зменшився до 95 %. На побудованій залежності часу зберігання від напруги на затворі, знаходиться значення часу, яке відповідає напрузі на затворі ОВ, що відповідає дійсному часу зберігання заряду.

Недоліками прототипу є:

- 5 - необхідність повторювати тривалі вимірювання по декілька разів;
- дійсний час зберігання заряду визначається з припущенням лінійної залежності часу зберігання від напруги на затворі, що в загальному випадку не є правильним;
- побудова лінійної залежності часу зберігання від напруги на затворі виконується по декількох близьких за напругою точках, що негативно відображається на точності визначення
- 10 дійсного часу зберігання;
- визначення часу зберігання по зменшенню заряду до 95 % може давати не дуже точний результат.

Ми пропонуємо спосіб вимірювання часу зберігання заряду комірки пам'яті, який може бути застосований на різних етапах виробництва приладів пам'яті.

- 15 Послідовність реалізації способу:

- вимірювання вольт-фарадних характеристик (ВФХ) МДН конденсатора-комірки пам'яті з плаваючим затвором, з максимальною амплітудою напруги розгортки сигналу  $V_{\max}$ , вибраною таким чином, щоб ВФХ відображала режими акумуляції та інверсії. Виміри ВФХ необхідно виконати від акумуляції до інверсії та у зворотному напрямку розгортки для оцінки впливу
- 20 вимірювання ВФХ на зміну заряду в діелектрику структури.

- визначення на ВФХ мінімальної ємності комірки ( $C_{\min}$ ), яка відповідає режиму інверсії структури;

$$C_{fb}(\varphi_s = 0) = \frac{\epsilon_0 \epsilon_i S}{d_{ox} + \left(\frac{\epsilon_i}{\epsilon_s}\right) \sqrt{\epsilon_0 \epsilon_s kT / N_B q}}, \text{ де}$$

визначення ємності плоских зон  $C_{fb}$  за формулою  
концентрація легуючої домішки напівпровідника  $N_B$  вираховується чисельними методами з

- 25 формул  $C_{\min} \sim \frac{\epsilon_0 \epsilon_i S}{d_{ox} + \left(\frac{\epsilon_i}{\epsilon_s}\right) W_m}$  та  $W_m = \sqrt{\frac{4 \epsilon_s \epsilon_0 kT \ln(N_B / n_i)}{q N_B}}$ , де  $W_m$  - максимальна ширина збідненого шару,  $S$  - площа комірки,  $d_{ox}$  - товщина діелектрика,  $\epsilon_0$  - діелектрична стала,  $\epsilon_s$  - діелектрична стала напівпровідника,  $T$  - температура комірки,  $k$  - стала Больцмана,  $n_i$  - власна концентрація носіїв в напівпровіднику,  $q$  - заряд електрона. Ємність плоских зон є сталою величиною для конкретної структури пам'яті і використовується для відслідковування змін значень напруг плоских зон [4].
- 30 - програмування комірки шляхом подачі на металічний електрод комірки одиночного імпульсу електричної напруги з амплітудою та тривалістю, необхідною для ефективної інжекції електричного заряду в діелектрик. Термін "програмування" поширюється на операції "запису" та "стирання" які відповідають подачі імпульсу додатної та від'ємної полярності відповідно.

- 35 - періодичне вимірювання напруги плоских зон  $V_{fb}$ , якому на ВФХ відповідає ємність плоских зон  $C_{fb}$ .

- 40 Для вимірювання одного значення  $V_{fb}$  на металічний електрод комірки подається серія коротких тестових (10-30 % від тривалості програмувального імпульсу) імпульсів напруги після кожного з яких вимірюється ємність комірки. Амплітуда першого імпульсу по модулю дорівнює амплітуді  $|V_{\max}|$ , амплітуди наступних поступово зменшуються в 2 рази за методом послідовних наближень (див. фіг. 1) і наближаються до шуканого значення  $V_{fb}$ . - Вимірювання  $V_{fb}$  вважається завершеним, коли виміряна після подачі чергового імпульсу, ємність комірки співпадає в межах похибки з ємністю плоских зон, а значення напруги плоских зон дорівнює амплітуді поточного імпульсу.

- 45 Період вимірювання значень  $V_{fb}$  вибирають з урахуванням швидкості зміни значень  $V_{fb}$ , але період вимірювання не може бути коротше за тривалість програмувального імпульсу;

- побудова часової залежності напруг плоских зон  $V_{fb}=f(t)$ ;
- визначення постійної часу зберігання заряду  $\tau$  шляхом апроксимації залежності  $V_{fb}=f(t)$  рівнянням  $V_{fb}=V_{fb}^0 + A \exp(-t/\tau)$ , де  $V_{fb}^0$  та  $A$  - постійні величини. Можливі випадки, коли залежність  $V_{fb}=f(t)$  описується двома експонентами, в такому випадку залежність ділиться на області, які
- 50 можуть бути апроксимовані вказаним рівнянням.

Спосіб може застосовуватись у поєднанні з електричним зміщенням металевго електрода МДН комірки, освітленням або/та нагрівом зразка до заданої температури з метою підвищення інформативності результатів.

Перевагами способу є:

- 5 - можливість застосування звичайної структури МДН-конденсатора, хоча можливе використання затвору і транзисторної структури;
- висока швидкість вимірювання значень напруги пласких зон під час процесу стікання заряду;
- значно зменшений вплив вимірювання  $V_{fb}$ , на характер часової залежності напруг плоских зон  $V_{fb}=f(t)$ , оскільки сумарна тривалість тестових імпульсів значно коротша за тривалість розгортки під час вимірювання порогової напруги у прототипі;

10 - точність визначення часу зберігання в приладах пам'яті із складною формою залежності  $V_{fb}=f(t)$  значно вище, ніж у прототипі завдяки її апроксимації рівнянням  $V_{fb}=V_{fb}^0+A\exp(-t/\tau)$ .

Постійна часу зберігання заряду визначалась у МДН комірки нанокристалічної енергонезалежної пам'яті (фіг. 2), яка побудована на кремнієвій підкладинці Р-типу (1), на якій вирощений термічний  $SiO_2$  окисел товщиною 3.5 нм (2), на який осаджений шар аморфного кремнію товщиною 9 нм (3) з подальшою рекристалізацією протягом 20 хв при 900 °С. Таким чином утворено двовимірний шар нанокристалів діаметром 3 нм та з концентрацією  $10^{12} \text{ см}^{-2}$  (6). На діелектрик та підкладинку нанесені металеві електроди (4,5) [5].

Комп'ютеризовану експериментальну установку було використано для керування процесами подачі програмуєчих напруг на затвор комірки, вимірювання ємності та підігріву комірки пам'яті. Установка складається з тримача зразків (7), вимірювача ємності (8), підсилювача (9), блока живлення нагрівача (10), блока контролю температури (11), блока збору даних (12) та персонального комп'ютера (13) (див. фіг. 3). Програмне забезпечення для визначення постійної часу зберігання побудоване з урахуванням можливості зміни температури зразка та подачі постійного електричного зміщення на верхній металевий електрод-затвор (див. фіг. 2 (4)).

В результаті вимірювань отримана сім'я кривих часової залежності напруг плоских зон  $V_{fb}=f(t)$ , виміряних при температурах від 30 °С(1\_Т30) до 90 °С(7\_Т90) за постійного електричного зміщення затвору комірки на -0,6 В (див. фіг. 4). Отримані криві були апроксимовані залежністю  $V_{fb}=V_{fb}^0+A\exp(-t/\tau)$ , де  $V_{fb}^0$  та А - постійні величини. Залежність постійної часу зберігання заряду від температури комірки, під час вимірювання, наведена на мал. 5.

З фіг. 5 видно, що постійна часу зберігання заряду діелектриком у комірки лінійно залежить від температури і зменшується від 190 с, при температурі 30 °С, до майже 50 с при 90 °С.

Джерела інформації:

1. Tsai et al, United States Patent US 6,445,614 B1, Publication Date: 3/09/2002
2. Markov et al., United States Patent US 2013/0114337 A1, Publication Date: 9/05/2013
3. Kawaguchi et al., United States Patent US 6,339,557 B1, Publication Date: 12/01/2002
4. S.M. Sze. Physics of semiconductor devices. Bell Laboratories 1984, Vol.1. P. 385.
5. E Tsoil, P Normand1, A G Nassiopoulou1 et. al., Silicon nanocrystal memories by LPCVD of amorphous silicon, followed by solid phase crystallization and thermal oxidation. Journal of Physics: CS vol. 10 (2005) PP. 31-34.

## ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб визначення постійної часу зберігання заряду діелектриком комірок нанокристалічної енергонезалежної пам'яті зі структурою метал-діелектрик-напівпровідник шляхом спостереження за динамікою стікання накопиченого в діелектрику заряду, який **відрізняється** тим, що виконують вимірювання вольт-фарадної характеристики (ВФХ) комірки пам'яті зі структурою метал-діелектрик-напівпровідник з максимальною амплітудою напруги розгортки сигналу  $V_{max}$ , достатньою для отримання режимів акумуляції та інверсії в прямому та зворотному напрямках розгортки; визначають на ВФХ мінімальну ємність комірки ( $C_{min}$ );

визначають ємність пласких зон  $C_{fb}$ , за формулою  $C_{fb}(\varphi_s = 0) = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_i S}{d_{ox} + \left( \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_s} \right) \sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon_s kT / N_B q}}$ ,

де концентрація легуючої домішки напівпровідника  $N_B$  вираховується з формул

$$C_{\min} \sim \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_i S}{d_{ox} + \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_s}\right) W_m}, \text{ та } W_m = \sqrt{\frac{4\varepsilon_0 \varepsilon_s k T \ln(N_B / n_i)}{q N_B}}, \text{ де } W_m - \text{максимальна ширина}$$

збідненого шару,  $S$  - площа комірки,  $d_{ox}$  - товщина діелектрика,  $\varepsilon_0$  - діелектрична стала,  $\varepsilon_i$  - діелектрична стала ізолятора,  $\varepsilon_s$  - діелектрична стала напівпровідника,  $T$  - температура

5 комірки,  $k$  - стала Больцмана,  $n_i$  - власна концентрація носіїв в напівпровіднику,  $q$  - заряд електрона; виконують програмування комірки шляхом подачі на металічний електрод комірки одиночного імпульсу електричної напруги з амплітудою та тривалістю, необхідною для ефективної інжекції електричного заряду в діелектрик; виконують періодичне вимірювання напруги пласких зон  $V_{fb}$ , якому на ВФХ відповідає ємність пласких зон  $C_{fb}$ , причому для

10 вимірювання одного значення  $V_{fb}$  на металічний електрод комірки подається серія коротких імпульсів напруги, тривалістю у 10-30 % від тривалості програмувального імпульсу, а амплітуда першого імпульсу по модулю дорівнює амплітуді  $|V_{\max}|$ , амплітуди наступних поступово зменшуються і наближаються до шуканого значення  $V_{fb}$ ; вимірювання  $V_{fb}$  завершують, коли виміряна, після подачі чергового імпульсу, ємність комірки співпадає з ємністю пласких зон, при  
15 цьому період вимірювання значень  $V_{fb}$  вибирають з урахуванням швидкості зміни значень  $V_{fb}$ , але період вимірювання не може бути коротше за тривалість програмувального імпульсу, після чого визначають часову залежність напруг пласких зон  $V_{fb} = f(t)$  та визначають постійну часу зберігання заряду діелектриком комірки пам'яті  $\tau$  шляхом апроксимації залежності  $V_{fb} = f(t)$  рівнянням  $V_{fb} = V_{fb}^0 + A \exp(-t/\tau)$ , де  $V_{fb}^0$  та  $A$  - постійні величини.

20

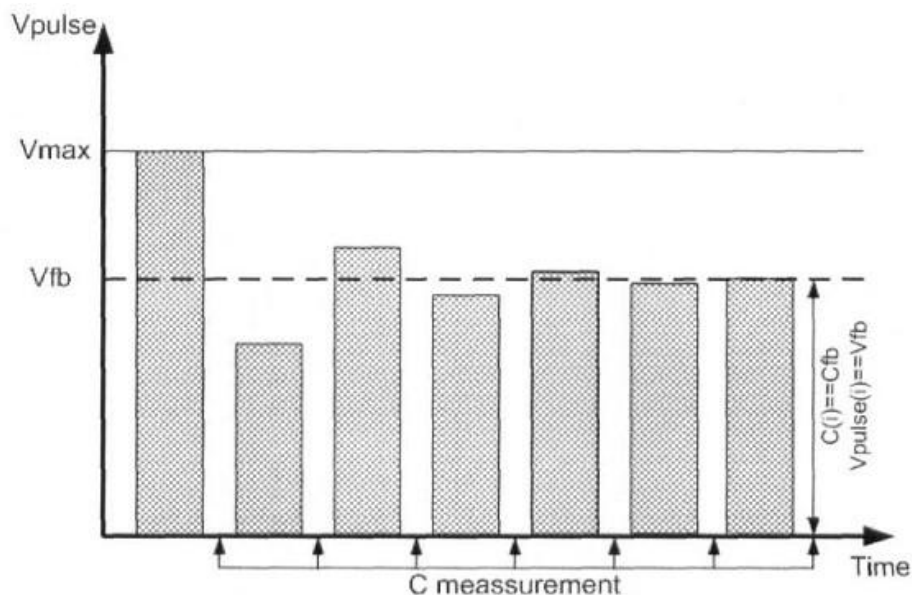


Fig.1

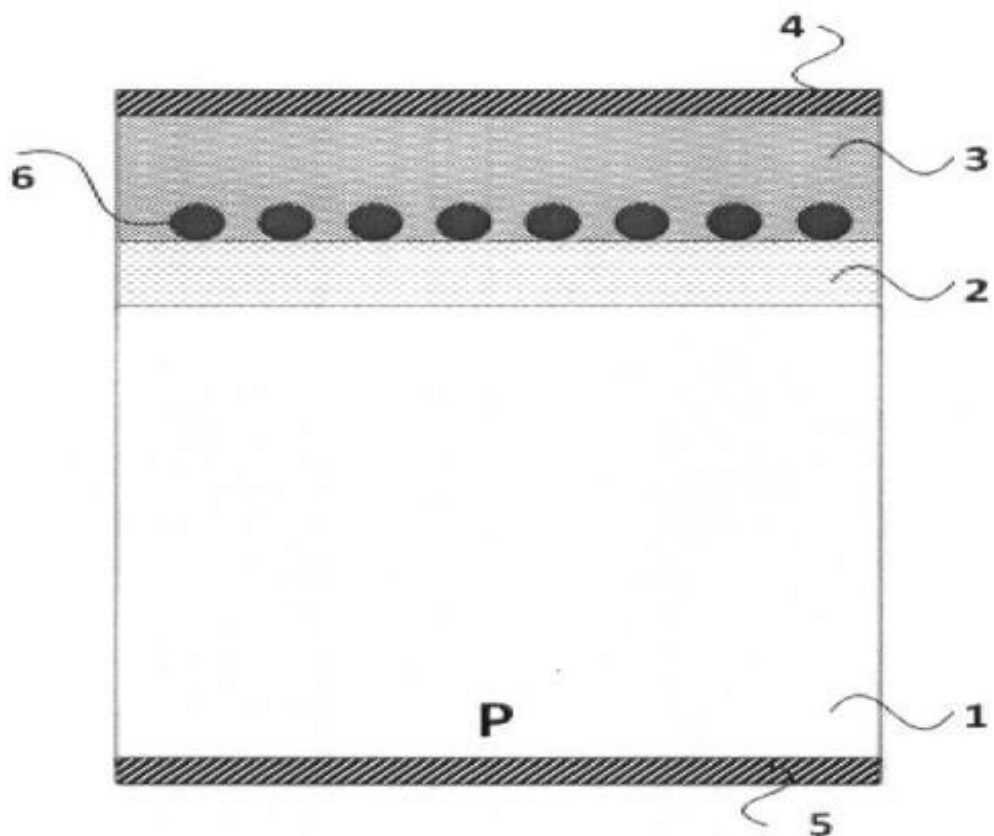


Fig. 2

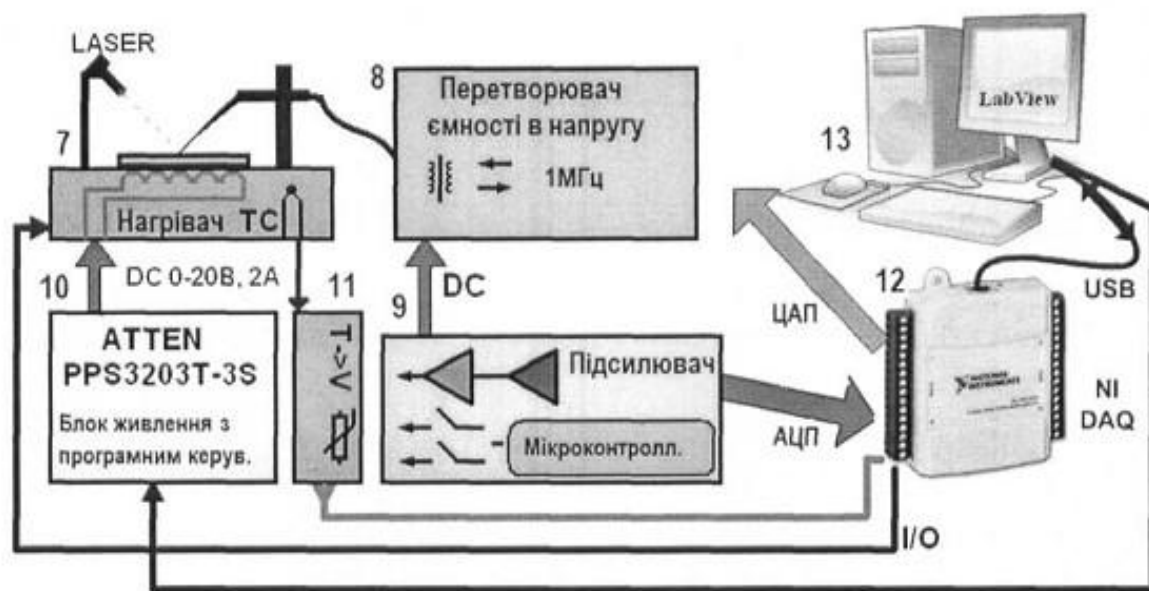
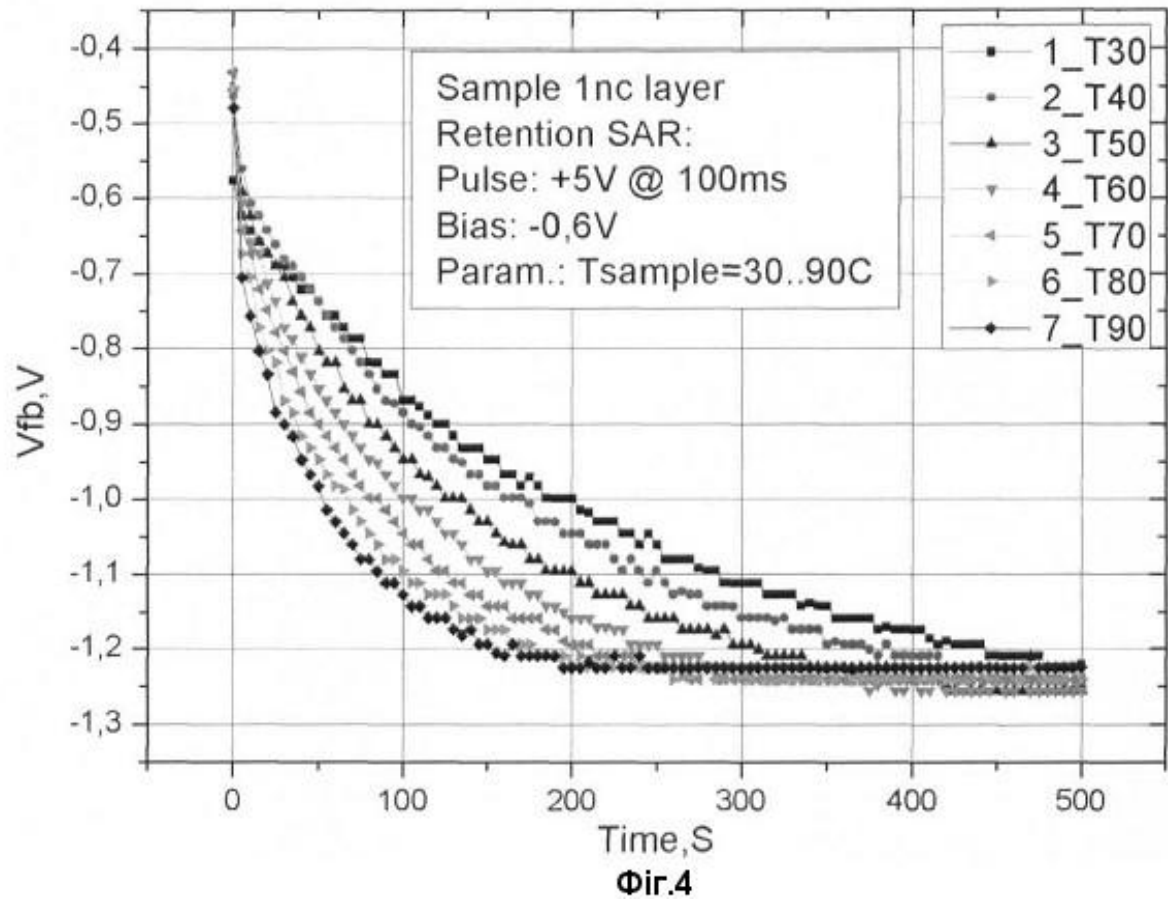
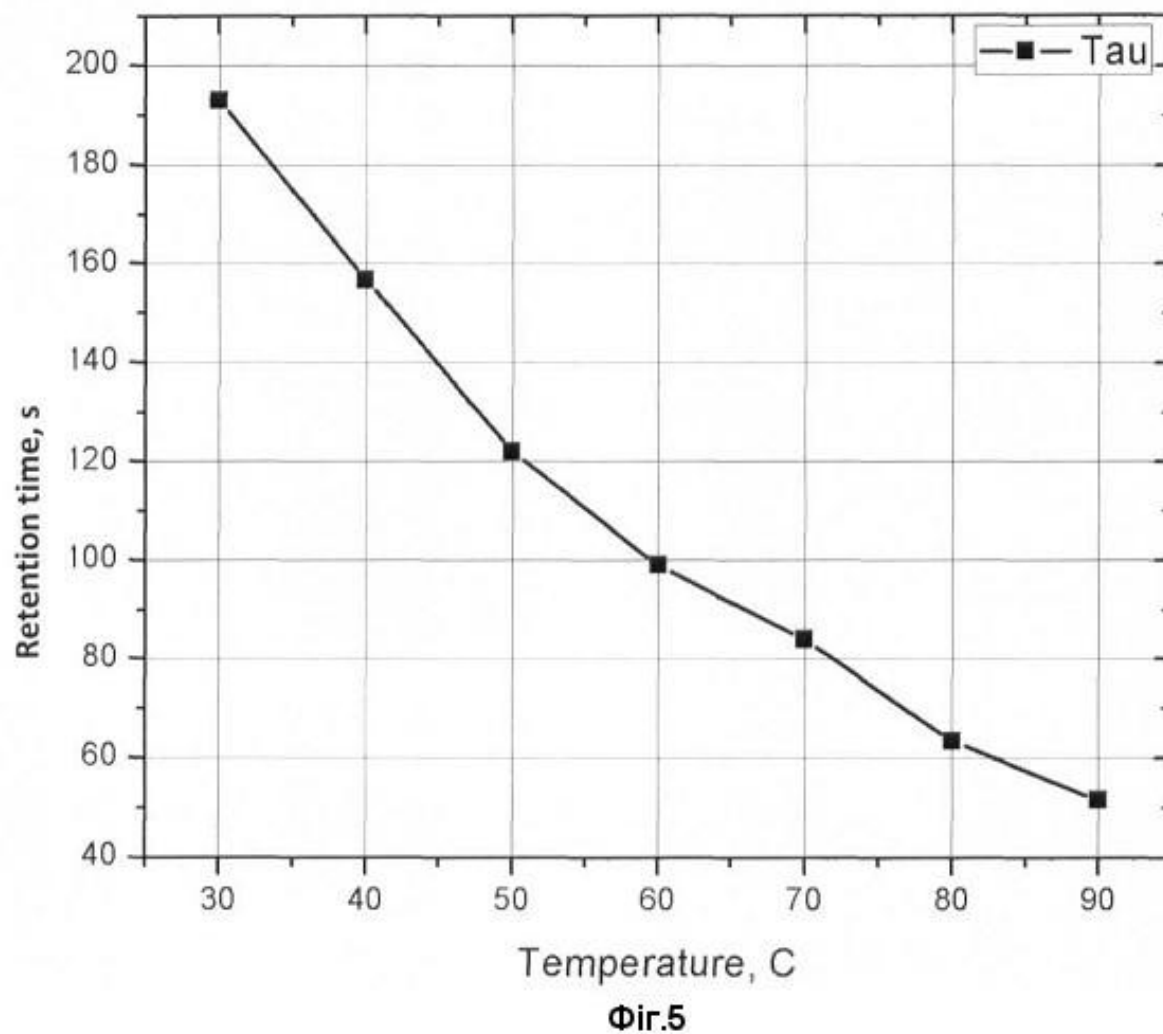


Fig. 3








---

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601