

на правах рукопису

КОЛОМОЄЦЬ ГЕНАДІЙ ПАВЛОВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУМОВИХ ФЛУКТУАЦІЙ В ПОТЕНЦІЙНИХ
ВАР'ЄРАХ КРЕМНІЄВИХ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ СТРУКТУР

01.04.10 - фізика напівпровідників та діелектриків

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Запоріжжя - 1993



Колом

№ 26.580

Робота виконана в Запорізькому індустріальному інституті

Наукові керівники: доктор технічних наук,
професор

Д.І.Левінзон

кандидат фізико-матема-
тичних наук, доцент

М.М.Ткаченко

Офіційні опоненти: доктор фізико-математич-
них наук, професор

Н.Б.Лук'янчикова

кандидат фізико-матема-
тичних наук, доцент

Ю.О.Швець

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00816987 (\$)

Провідна установа - ОКБ "Елміс", м.Запоріжжя

Захист відбудеться " 4 " березня 1993р. в 14³⁰ годин на
засіданні Спеціалізованої ради К 068.52.02 при Запорізькому
державному університеті за адресою: 330055, м.Запоріжжя, вул.
Жуковського, 66.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Запорізько-
го державного університету.

Автореферат розісланий " 1 " лютого 1993р.

Вчений секретар
Спеціалізованої ради,
кандидат технічних
наук, доцент




ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вивчення природи флуктуаційних явищ в напівпровідниках та напівпровідникових приладах належить до числа найбільш важливих напрямів фізичних досліджень. Аналіз шумових характеристик дозволяє одержувати цінні відомості про механізми протікання фізичних процесів в об'єктах. Слід підкреслити, що шумовий метод досліджень характеризується високою інформативністю, тому доцільно його використання при вивченні нових матеріалів та приладів на їх основі.

Полікристалічний кремній на цей час висувається до числа найбільш перспективних матеріалів твердотільної електроніки і знаходить широке застосування у виробництві напівпровідникових приладів (інтегральних транзисторів, діодів, резисторів, фотоелементів). Вибір об'єктом досліджень полікремнія є обгрунтованим, тому що, не дивлячись на визнану основну роль меж зерен в формуванні властивостей цього матеріалу, достатньо повні знання про характер взаємодії меж з носіями заряду все ж відсутні.

Низькочастотний шум, що супроводжує перенесення носіїв заряду в полікристалічних напівпровідниках, пов'язують, як правило, з істотною дефектністю областей меж зерен. В той же час відсутня повна картина взаємозв'язку механізмів генерації шуму та процесів, що відбуваються в об'ємі та на межах зерен. Дослідження низькочастотного шуму $1/f$ -типу являє собою самостійну наукову проблему у зв'язку з відсутністю до цього часу достатньо повної універсальної моделі, яка пояснює накопичені експериментальні результати дослідження шуму такого типу.

Метою роботи є експериментальне та теоретичне дослідження природи низькочастотного електричного шуму, а також визначення параметрів меж зерен у полікристалічному кремнії, одержаному різними технологічними засобами.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

1. Адаптувати методику вимірювань низькочастотного шуму до полікремнієвих зразків та сконструювати експериментальну уста-

новку.

2. З'ясувати природу низькочастотного електричного шуму в полікремнієвих зразках та визначити область його генерування за допомогою дослідження флуктуаційних характеристик в широкому діапазоні струмів та частот.

3. Визначити параметри, що характеризують вплив меж зерен на поведінку та рівень низькочастотного електричного шуму.

Наукова новизна роботи.

1. Дано пояснення нелінійності струмової залежності шуму одиничних активних меж зерен з урахуванням впливу на процеси захоплення-емісії носіїв на межові стани електричного поля зворотнозміщеної частини області просторового заряду на межах.

2. Виявлено мінімум на залежності шуму полікремнієвих резисторів від рівня легування, існування якого пояснюється зміною ролі дефектних областей меж зерен в формуванні низькочастотного шуму.

3. Для слабологованих полікремнієвих плівок за допомогою шумового методу досліджень одержаний розподіл ефективної щільності межових станів.

4. Запропонована інтерпретація надлінійності струмової залежності низькочастотного шуму струму бази транзисторів, що полягає в урахуванні впливу градієнту концентрації домішки на флуктуації рухливості носіїв заряду.

5. Знайдено аномалії вольтфарадної характеристики емітерного р-п переходу, зумовлені існуванням межі поділу полікремній-монокремній.

6. Запропонований та реалізований низькочастотний метод вимірювання опору квазинейтральної емітерної області, а також метод оцінки шуму квазинейтрального емітеру.

Практична цінність роботи.

1. Запропоновано та реалізовано метод вимірювання опору квазинейтрального емітеру при тестуванні низькочастотним сигналом транзистора, що включений по схемі з розімкнутим колектором.

2. Запропоновано та реалізовано метод оцінки надлишкового шуму квазинейтральної емітерної області.

3. Модифікована методика вимірювань струмового шуму зразків з чотирьохзондовою конфігурацією, що дозволило підвищити точність вимірювань.

4. Результати досліджень струмових флуктуацій та ефекту струмової підстройки опору полікремнієвих резисторів дозволили запропонувати їх як елементи регулювання для монолітних ліній затримки.

Розробки захищені двома авторськими свідоцтвами на винахід.

Вірогідність одержаних результатів підтверджується додержанням необхідних вимог по метрологічному забезпеченню експерименту та математичної обробки результатів вимірювань, погодженістю між розробленими модельними уявленнями та отриманими експериментальними результатами, включаючи дані інших авторів, узгодженням пропозицій та висновків з нормами та вимогами практичного матеріалознавства та приладобудування.

На захист виносяться:

1. Результати досліджень низькочастотних електричних флуктуацій, що супроводжують перенесення носіїв заряду у зразках з одиничними межами зерен, та ствердження про зв'язок низькочастотного шуму електрично активних меж з генераційно-рекомбінаційними флуктуаціями заселення межових станів.

2. Результати досліджень струмового шуму плівкових полікремнієвих резисторів та ствердження про те, що його природа в цьому випадку пов'язана з розсіянням носіїв заряду.

3. Ствердження про зв'язок мінімуму шуму, що спостерігається в полікремнієвих резисторах при концентраціях домішки $N_{\text{d}} \approx 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, із зміною внеску дефектних областей меж зерен в формування флуктуацій.

4. Обґрунтування природи джерел флуктуацій в транзисторі з полікремнієвим контактом до емітера, що включений у схемі з загальним емітером.

5. Методи визначення опору та низькочастотного шуму квазинейтрального емітера при включенні транзистора у схемі з розімкнутим колектором.

Апробація роботи. Результати дисертаційної роботи доповідалися на V Всесоюзній конференції "Флуктуаційные явления в физических системах" (Вільнюс, 1988р.), на III конференції молодих вчених, новаторів виробництва, організаторів НТМ (Запоріжжя, 1988р.), на засіданнях Всесоюзної науково-технічної школи "Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах" (Москва, 1989р., Чорногівка, 1990р.), на XII Всесоюзній конференції по фізиці напівпровідників (Київ, 1990р.), на VII Міжнародній конференції "Микроэлектроника-90" (Мінськ, 1990р.), на VI науковій конференції "Fluctuation Phenomena in Physical Systems" (Паланга, 1991р.), на Міжнародній конференції "Microelectronics'92" (Варшава, 1992р.), на наукових семінарах кафедр компонентів та матеріалів електронної техніки ЗІІ (Запоріжжя, 1992р.), фізичної електроніки XII (Херсон, 1992р.), спільному науковому семінарі кафедри компонентів та матеріалів електронної техніки ЗІІ та кафедри твердотільної електроніки та мікроелектроніки ЗДУ (Запоріжжя, 1992р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 20 робіт.

Структура та об'єм дисертації. Робота складається з вступу, п'яти розділів та висновків. Робота викладена на 161 сторінках, включаючи 61 малюнків та список літератури з 142 найменувань.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

В вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета роботи, вказані її новизна та практична цінність, а також подано перелік основних наукових положень, що виносяться на захист.

В першому розділі надано огляд теоретичних та експериментальних результатів досліджень електричних та шумових властивостей полікристалічного кремнію та транзисторів з полікремнієвим контактом до емітера. Підкреслюється визначна роль меж зерен в формуванні електричних та шумових властивостей зразків. Розглянуті моделі низькочастотного шуму в полікремнії, в яких джерелом флуктуацій вважають або флуктуації заселення ло-

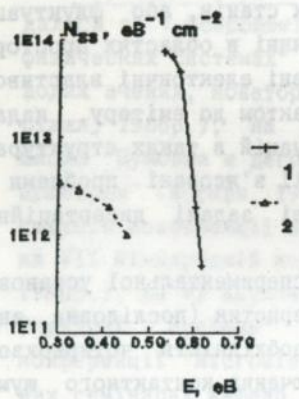
калізованих на межах зерен електронних станів, або флуктуації рухливості носіїв заряду при їх розсіянні в областях просторового заряду на межах. Розглянуті основні електричні властивості транзисторів з полікремнієвим контактом до емітера, надані результати вимірювань струмових флуктуацій в таких структурах. На підставі аналізу існуючої інформації з'ясовані проблеми у цій області досліджень та сформульовані задачі дисертаційної роботи.

В другому розділі подано опис експериментальної установки та методики вимірювань шумових характеристик (послідовна аналогова фільтрація). Обґрунтовано необхідність чотирьохзондової конфігурації зразків задля виключення контактного шуму. При цьому звертається увага на той факт, що надлишковий струмовий шум не виникає в областях потенційних зондів внаслідок практичної відсутності протікання по ним струму. Це враховано в модифікованій методиці вимірювань струмового шуму чотирьохзондових зразків.

Надано опис технологічних процесів виготовлення дослідних зразків:

- а) одиничних меж зерен різного ступеню дефектності та різної орієнтації відносно напрямку струму основних носіїв заряду, що виготовлені із кристалів кремнію, зрощених методом Степанова ($\text{Si} \langle B \rangle$, $N_{\text{a}} \approx 2 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$);
- б) дрібнозернистих плівкових полікремнієвих резисторів різного рівня легування ($\text{Si} \langle B \rangle$, $N_{\text{a}} \approx 2 \cdot 10^{17} - 2 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$), одержаних методом газозафазного хімічного осаджування при пониженому тиску;
- в) інтегральних біполярних $p^+ - n - n$ транзисторів з полікремнієвим контактом до емітерної області.

Третій розділ присвячено дослідженню електричних та шумових характеристик одиничних меж зерен. Показано, що ступінь розупорядкування кристалічної будови меж корелює з висотою потенційного бар'єру, що виникає внаслідок захоплення носіїв на незаповнені електронні зв'язки, а також з величиною та формою спектра флуктуацій напруги, яка прикладається до межі. Встановлено, що за допомогою шумового методу досліджень можна визначити вплив на проходження струму меж, що паралельні його на-



Мал. 1. Розподіл щільності межових станів: 1- для одиначної межі зерна; 2- для слаблегованого полікремніевого резистора.

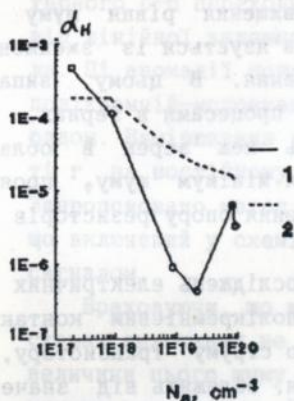
прямку, у той час як аналіз електричних характеристик (питомого опору, холловської рухливості) цей вплив не виявляє.

Існування низькочастотного плато та $1/f$ -ділянки в спектрі шуму межі зерна високого ступеню кристалічної недосконалості (так званої електрично активної межі), перпендикулярної напрямку струму, дозволила використати модель, в якій джерелом шуму припускаються флуктуації заселення межових станів. Шум термоемісійного струму, що вимірюється, викликається флуктуаціями висоти потенційного бар'єру на межі, які пов'язані з малим генераційно-рекомбінаційним струмом захоплення-емісії носіїв на межові стани. Наявність у спектрі ділянки $1/f$ -типу пояснюється статистичним роз-

поділом висоти потенційного бар'єру уздовж межі. В рамках цієї моделі по даним вимірювань шуму розраховано розподіл щільності межових станів N_{ss} , переріз захоплення пасток та середнє статистичне відхилення висоти потенційного бар'єру на межі. Розраховані значення N_{ss} для меж зерен профільованого кремнію виявляються більше відповідних значень для меж, що одержані іншими методами (Мал. 1).

Запропоновано пояснення нелінійної струмової залежності шуму на межі, що полягає в урахуванні впливу електричного поля зворотньоозміщеної частини області просторового заряду межі на кінетику процесів захоплення-емісії носіїв на межові стани. Виконаний на підставі статистики Шоклі-Холла-Ріда розрахунок показує, що інтенсивність емісії носіїв із локалізованих станів зростає з ростом прикладеного до межі зміщення, що приводить на практиці до зменшення низькочастотного шуму надбар'єрного струму.

Показано, що одержані для активної одиначної межі зерна шумові характеристики не можуть бути адекватно пояснені в рамках відомих моделей шуму, що ґрунтуються на припущенні про



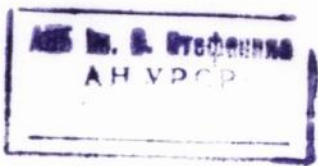
Мал. 2. Залежність параметра α_n від рівня легування резисторів:
1- експеримент;
2- теорія.

яють флуктуації рухливості носіїв заряду в областях потенційних бар'єрів на межах. В таких моделях вплив межових станів на перенесення носіїв заряду проявляється посереднено: величина N_a визначає розмір області, у якій відбувається розсіяння носіїв. На підставі цих передумов отримано енергетичний розподіл ефективної щільності межових станів для слаболегованих полікремнієвих резисторів (Мал. 1).

Залежність параметру α_n , значення якого пропорційно інтенсивності флуктуацій в полікремнієвих резисторах, від рівня легування виявляє мінімум в області концентрацій $N_a \approx 2 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$ (Мал. 2), у той час як залежності електричних параметрів (питомого опору, ефективної висоти потенційного бар'єру на межах зерен) були монотонними. Монотонну залежність α_n від рівня легування передвіщує використана теорія флікер-шуму. Виявлене в проведеному експерименті існування мінімуму шуму пояснено зміною ролі дефектних областей меж зерен в формуванні низькочастотного шуму при зміні рівня легування. Зменшення значення α_n в діапазоні рівней легування $N_a \approx 2 \cdot 10^{17} - 2 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$ пояснюється зниженням ефективної рухливості носіїв заряду, що зумовлено специфікою фізичних процесів, які

флуктуації рухливості носіїв як джерела шуму.

В четвертому розділі наведені результати досліджень електричних та шумових характеристик полікремнієвих резисторів різного рівня легування. З ростом концентрації легуючої домішки в діапазоні $N_a \approx 2 \cdot 10^{17} - 2 \cdot 10^{20} \text{cm}^{-3}$ спостерігається зменшення ефективної висоти потенційного бар'єру на межах зерен, що пов'язано із зростанням рівня легування самих зерен полікремнію. 1/f-форма спектрів шуму та пропорційні квадрату струму струмові залежності шуму, отримані для всіх зразків, можуть бути несуперечно пояснені в рамках моделей флікер-шуму, джерелом якого вважають



відбуваються в області меж зерен. Підвищення рівня шуму при концентраціях, більших $2 \cdot 10^{19} \text{см}^{-3}$, пов'язується із зменшенням впливу меж зерен на струмопроходження. В цьому випадку механізм формування шуму визначається процесами в зернах.

Слід підкреслити, що визначна роль меж зерен в області концентрацій, при яких спостерігається мінімум шуму, проявилася також у виникненні ефекту збільшення опору резисторів при пропусканні струму високої щільності.

П'ятий розділ вміщує результати досліджень електричних та шумових властивостей транзисторів з полікремнієвим контактом до емітеру. Величина шуму колекторного струму транзистору, що включений у схемі з загальним емітером, залежить від значення опору у вхідному ланцюзі. При розімкненому вході транзистора джерелом низькочастотного шуму струму колектора є надлишкові флуктуації струму бази, які передані до вихідного ланцюга. Природа цих флуктуацій пов'язана з процесами дифузії неосновних носіїв заряду в емітерній області. Нелінійність струмової залежності цього шуму пояснена впливом на дифузію носіїв вбудованого електричного поля, що виникає внаслідок неоднорідного легування областей транзистору. Проведений розрахунок та комп'ютерне моделювання підтверджують можливість такого пояснення.

При короткому замиканні по змінному сигналу входу транзистора шум струму колектора пов'язан із модуляцією товщини квазинейтральної області бази. Модуляція бази виникає внаслідок флуктуацій розмірів областей просторового заряду р-п переходів, які можуть виникати через генераційно-рекомбінаційні процеси у цих областях. На підставі аналізу частотнезалежного шуму, що спостерігається в цьому випадку на частотах $f = 1 \text{кГц}$, розраховані значення послідовного опору області бази транзистору. Помічено, що вплив полікремнієвого контакту до емітеру на шумові властивості транзисторів у схемах включення з загальним емітером та загальною базою частіше всього не проявляється.

Проведено детальне вивчення електричних та шумових властивостей полікремнієвого емітеру. Наведені результати, що свідчать про наявність аномалій вольтфарадних характеристик емі-

терного р-п переходу: високих напруг відсікання та відхилення від лінійної залежності $C^{-2}(V_{BE})$ при напругах, близьких до нуля. Ці аномалії пояснюються присутністю в емітері межі поділу полікремній-монокремій та локалізованим на ній електричним зарядом. Вимірювання величини опору послідовної емітерної області r_e на постійному електричному сигналі виявилось утрудненим. Запропоновано метод визначення r_e при тестуванні транзистору, що включений у схемі з розімкнутим колектором, низькочастотним сигналом.

Враховуючи, що шум полікремнієвого емітеру в традиційних схемах включення не проявляється, пропонується спосіб оцінки величини цього шуму при включенні транзистору у схемі з розімкнутим колектором. Виконаний розрахунок показує, що виміряні у цій схемі включення флуктуації напруги на колекторі $S_{V_{CES}}$ пов'язані з флуктуаціями опору квазинейтрального емітеру S_{R_e} :

$$S_{V_{CES}} = \left(\frac{kT}{q} \right)^2 \cdot \alpha_1^{-2} S_{\alpha} + S_{R_e} \cdot I_B^2$$

Отримане експериментальне значення "шумності" (S_{R_e}/r_e^2) квазинейтрального емітеру збіглося із значенням "шумності" полікремнієвого резистору, виготовленого аналогічним способом при тому ж рівні легування.

В висновку сформульовані основні результати роботи:

1. Електричні флуктуації в полікристалічному кремнії з низькими та середніми рівнями легування зумовлені фізичними процесами, що протікають на межах зерен.

2. Природа електричного шуму в полікремнії може бути пов'язана як з флуктуаціями заселення локалізованих на межах зерен електронних станів, так і з розсіянням носіїв в областях просторового заряду на межах. При цьому перша із названих причин виникнення шуму характерна для слабологованого полікремнію з високим ступенем структурної недосконалості меж зерен.

3. Шумовим методом отримані розподіли щільності межових станів для зразків полікристалічного кремнію, що виготовлені різними технологічними способами. Отримані результати знаходяться в згоді із розподілами, що розраховані за допомогою аналізу електропровідності зразків. Встановлено, що полікремній, отриманий методом газофазного хімічного осадження при по-

нижньому тиску, характеризується вищим ступенем структурної недосконалості, ніж полікремній, що отриман способом Степанова.

4. Визначені джерела низькочастотного шуму в транзисторах з полікремнієвим контактом до емітеру. В умовах холостого ходу у вхідному ланцюзі транзистора шум струму колектору визначається підсиленням шумом струма бази, який пов'язаний з флуктуаціями рухливості носіїв в квазинейтральній емітерній області. В умовах короткого замикання входу транзистора шум струму колектора обумовлений модуляцією товщини області бази.

5. Вплив електричних флуктуацій в полікристалічному емітері на шумові властивості транзисторів в загальному випадку не проявляється внаслідок вищого рівня шуму р-п переходу, що включений з ним послідовно. Запропонований метод, розроблений на базі моделі Еберса-Молла, дозволяє оцінити величину шуму полікремнієвого емітеру.

Основні результати дисертації опубліковані в роботах:

1. Ткаченко Н.Н., Коломеец Г.П. Низькочастотный шум кремниевых гетеропереходов/Тез. докл. V Всесоюзн. конф. "Флуктуационные явления в физических системах". -Вильнюс.-1988. -С.73-75.
2. Ткаченко Н.Н., Коломеец Г.П., Мельник О.В. Низькочастотные токовые шумы в кремниевых гетеропереходах/Тез. докл. III конф. молодых ученых, специалистов, новаторов производства, организаторов НТТМ. -Запорожье, 1988.-С.86.
3. Ткаченко Н.Н., Коломеец Г.П. Исследование электрических характеристик активных элементов СБИС/Тез. докл. III конф. молодых ученых, новаторов производства, организаторов НТТМ. -Запорожье.-1988.-С.86.
4. Коломеец Г.П., Гаращенко Н.П., Киричек В.В., Савченко Т.В. Исследование гетеропереходов в активных элементах полупроводниковых структур/"Компоненты и материалы электронной техники" Сб. научн. трудов. Под ред. Д.И. Левинсона.-Киев: УМКВО.-1989.-С.64.
5. Ткаченко Н.Н., Коломеец Г.П. Избыточный "белый" шум в поликремниевых биполярных транзисторах/Тез. докл. Всесоюзн. научно-техн. школы "Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах".-И.-1989.-С.42-43.

6. Ткаченко Н.Н., Коломоец Г.П., Федотов А.К. Токовый шум границ зерен кремния/Тез. докл. XII Всесоюзн. конф. по физике полупроводников.-Киев.-1990.-Ч.2.-С.64.
7. Ткаченко Н.Н., Коломоец Г.П., Федотов А.К., Ильяшук Ю.М. Исследование низкочастотного токового шума межзеренных границ поликристаллического кремния/Тез. докл. н.-т. семинара "Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах".-Черноголовка.-1990.-С.16-17.
8. Ткаченко Н.Н., Коломоец Г.П., Мелентьев Н.Г. Токовый шум поликремниевых резисторов/Тез. докл. н.-т. семинара "Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах".-Черноголовка.-1990.-С.21-22.
9. Ткаченко Н.Н., Гаращенко Н.П., Назаренко В.Н., Коломоец Г.П. Пленки поликристаллического кремния в эмиттерах биполярных транзисторов/Тез. докл. VII Междунар. конф. Микроэлектроника-90".-Минск.-1990.-Т.1.-С.109.
10. Ткаченко Н.Н., Левинзон Д.И., Коломоец Г.П. Барьерная емкость гетеропереходов на основе поликристаллического кремния/Тез. докл. XII Всесоюзн. конф. по физике полупроводников.-Киев.-1990.Ч.2.-С.193.
11. Ткаченко Н.Н., Коломоец Г.П., Федотов А.К., Ильяшук Ю.М., Снапиро И.Б. Токовый шум границ зерен в поликристаллическом кремнии//ФТТ.-1991.-Т.33, N5.-С.1593-1595.
12. Tkachenko N., Kolomoets G. Low-frequency noise of grain boundaries in semiconductors/Proc. of the 6th Sci. Conf. on Fluctuation Phenomena in Physical Systems, Palanga, Lithuania.-1991.-P.95-96.
13. Ткаченко Н.Н., Коломоец Г.П. Избыточный шум в биполярных транзисторах с поликремниевым эмиттером//УФЖ.-1991.-Т.36, N6.-С.917-923.
14. Ткаченко Н.Н., Гаращенко Н.П., Назаренко В.Н., Коломоец Г.П. Транзисторы с поликристаллическими слоями в области эмиттера//Электронная техника. Сер. Полупроводниковые приборы.-1991.-Вып.1(210).Деп. рукопись NP5443.
15. Tkachenko N., Levinzon D., Kolomoets G. Current noise in bipolar transistors with polysilicon emitters/Proc. of the 6th Sci. Conf. on Fluctuation Phenomena in Physical Sys-

- tems, Palanga, Lithuania.-1991.-P.177-179.
16. Tkachenko M.M., Kolomoets G.P., Melentjev N.G. Polycrystalline resistors with current-induced tuning of electrical parameters/Proc. of Int. Conf."Microelectronics'92", 21-23 September, 1992, Warsaw, Poland. Published by SPIE, USA.-1992.-V.1783.-P.223-243.
 17. Tkachenko M.M., Kolomoets G.P., Nazarenko V.N. Parameter determination of the polysilicon emitter interface for bipolar transistors/Proc. of Int. Conf."Microelectronics'92", 21-23 September, 1992, Warsaw, Poland. Published by SPIE, USA.-1992.-V.1783.-P.223-232.
 18. Коломоец Г.П., Ткаченко Н.Н., Левинзон Д.И., Назаренко В.Н. Исследование характеристик границы раздела в поликремниевых эмиттерах биполярных транзисторов//Микроэлектроника. -1992.-Т.21, вып.6.-С.36-39.
 19. Мелентьев Н.Г., Остренко Д.В., Ткаченко Н.Н., Снапиро И.Б., Коломоец Г.П. Линия задержки с регулируемыми параметрами. Заявка на изобретение N 4858563/22 от 8.08.90г, положительное решение от 28.04.92г.
 20. Мелентьев Н.Г., Остренко Д.В., Ткаченко Н.Н., Снапиро И.Б., Коломоец Г.П. Способ подгонки величины сопротивления поликристаллического резистора. Заявка на изобретение N 4845656 от 2.07.90г. Положительное решение от 29.04.92г.

HP 50.084

469496

Ab 26.584

Ab 26.584

- ...tess, Palanga, Lithuania
16. Tkachenko N.N., Kolomoets G.P., Kolesov G.I. Tallins resistors with special parameters/Proc. of 21-23 September, 1992, Warsaw, Poland. Published by SPIS, USA, -1992.-V.1783.-P.223-243.
 17. Tkachenko N.N., Kolomoets G.P., Nazarenko V.N. Parameter determination of the polysilicon emitter interface for bipolar transistors/Proc. of Int. Conf. "Microelectronics'92", 21-23 September, 1992, Warsaw, Poland. Published by SPIS, USA, -1992.-V.1783.-P.223-232.
 18. Коломоєць Г.В., Ткаченко Н.Н., Лезикоз А.М., Назаренко В.Н. Исследование характеристик границ раздела в поликремниевых эмиттерах биполярных транзисторов//Микроэлектроника. -1992.-Т.21, вып.6.-С.36-39.
 19. Мелентьев В.Г., Остренко Д.В., Ткаченко Н.Н., Спальро И.В., Коломоєць Г.В. Динамическая задержка с регулируемым параметрами. Заявка на изобретение N 4858563/22 от 8.08.90г. положительное решение от 28.04.92г.
 20. Мелентьев В.Г., Остренко Д.В., Ткаченко Н.Н., Спальро И.В., Коломоєць Г.В. Способ задания величин соотношения поликристаллического резистора. Заявка на изобретение N 4845656 от 2.07.90г. положительное решение от 29.04.92г.

1000 201