

Винахід відноситься до галузі матеріалознавства і може бути використаний в радіоелектронному, напівпровідниковому та оптоелектронному приладобудуванні.

Польові транзистори або МДН-транзистори мають широке застосування в сучасних приладах радіоелектронної та комп'ютерної техніки, (МДН - метал-діелектрик-напівпровідник). Швидкодіючі кремнієві польові транзистори використовуються для роботи в ключових та імпульсних пристроях, регуляторах, стабілізаторах, перетворювачах напруги, синхронних випрямлячах, підсилювачах сигналу, генераторах коливань та інших електронних пристроях. Ці прилади виготовляють по планарно-епітаксильній технології з утворенням горизонтальної чи вертикальної МДН-структури.

В останні роки в комп'ютерній техніці широко застосовують оперативну пам'ять SRAM (статичний запам'ятовуючий пристрій з довільним порядком вибірки) та DRAM (динамічний запам'ятовуючий пристрій з довільним порядком вибірки). Структурними елементами цієї пам'яті є мініатюрні кремнієві МДН-транзистори.

Основним завданням сучасного виробництва кремнієвих МДН-транзисторів є їх мініатюризація і покращення електрофізичних параметрів.

Відомо, що дія іонізуючого випромінювання приводить до суттєвих змін основних електрофізичних характеристик кремнієвих МДН-транзисторів: збільшення заряду на поверхні кристалу, інверсії його активних областей під поверхню окислу та зміну порогової напруги (напруги плоских зон U_{FD}), (В.С. Першенков, В.Д. Попов, А.В. Шальнов Поверхностные радиационные дефекты в ИМС /-М. Энергоатомиздат, 1988.-256 с. Гуртов В.А., Евдокимов В.Д., Назаров А.И., Хрусталев В.А. Накопление радиационно-индуцированного заряда в МНОП-структурах с различной толщиной окисла. Микроэлектроника, т. 14, вып. 5, стр. 431-434, 1985 г.). В результаті таких змін в інтегральних мікросхемах відбувається "плавання" рівнів "0" та "1", нестійка робота електронних схем, зміна співвідношення сигнал/шум. Особливо чутливі до дії радіації n-канальні МДН-транзистори, що мають найменшу порогову напругу.

Дослідження впливу радіації на параметри МДН-транзисторів в даний час є надзвичайно актуальним, оскільки ці транзистори є складовою частиною приладів, які працюють в літаках, на космічних станціях та супутниках (галактична та сонячна радіація), які контролюють та керують роботою ядерних реакторів (потoki нейтронів, протонів, альфа-частинок, гамма-випромінювання), входять до складу апаратурних комплексів спеціального призначення у військовій техніці (випромінювання при ядерних вибухах). В зв'язку з цим, дуже великого значення набувають способи підвищення радіаційної стійкості промислових МДН-транзисторів.

Відомі способи отримання польових транзисторів - патент ФРН DE 19928563 A1, МПК H01L 29/78, 2001 р., патент ФРН DE 10103297 A1, МПК H01L 29/78, 2002 р., патент ФРН DE 19929211 A1, МПК H01L 29/78, 2001 р., патент США № 6316813, МПК H01L 029/76, 2001 р., патент США № 6440802, МПК H01L 021/823.8, 2001 р., патент США № 6392467, МПК H03K 017/687, 2002 р., патент США № 6376315, МПК H01L 021/336, 2002 р., патент США № 6380011, МПК H01L 021/00, 2002 р., патент США № 6376888, МПК H01L 029/76, 2002 р., патент США № 5864161, МПК H01L 027/01, 1999 р., де описують сучасні технології отримання польових транзисторів з використанням легованих кремнієвих пластин, металічних електродів і процесів дифузії та епітаксії.

Відомий спосіб "MOS-Transistor und Verfahren zu dessen Herstellung" - (патент ФРН DE 19928563 A1, МПК H01L 29/78, 2001 р.), в якому МДН-транзистор формується у вигляді напівпровідникового острівка, над яким підвищується ізолююча структура кільцевої форми. На ізолюючій структурі у бокових областях створюють високолеговані зони. Всередині кільцевої ізолюючої структури розміщують перший електрод, а над ним розташовують другий електрод, який перебуває в електричному зв'язку з першим. Радіаційного опромінення для впливу на параметри МДН-транзистора не застосовують. Отримані за цим способом транзистори не володіють радіаційною стійкістю.

Відомий спосіб "Semiconductor device and method of manufacturing the same"-(патент США № 6383860, МПК H01L 021/824.2, 2002 р.), де описують спосіб отримання напівпровідникового пристрою, в якому перший шар дифузійної домішки формує одну з областей витік/стік і лінію даних. Перший напівпровідниковий шар, каналний напівпровідниковий шар і другий напівпровідниковий шар, які формують другу область витік/стік і вузол запам'ятовування, розміщені на першому домішковому шарі. Ізолююча ємнісна плівка розміщена на другому провідному шарі. Комірка пам'яті розміщена на вузлі запам'ятовування з ємнісною ізолюючою плівкою між ними. Таким способом зменшують ємність лінії даних, що приводить до великої швидкості роботи пристроїв пам'яті DRAM. Для зміни електрофізичних параметрів МДН-транзисторів рентгенівське випромінювання не застосовують. Отримані за цим способом транзистори не володіють радіаційною стійкістю.

Відомий спосіб "Semiconductor device"-(патент США № 6392277, МПК H01L 027/01, 2002 р.), де описаний напівпровідниковий пристрій, що має властивості польового транзистора. Пристрій сформований на напівпровідниковому шарі з утворенням областей з протилежним типом провідності, ізолюючим шаром і використанням накладного електрода, який електрично зв'язаний зі сформованим каналом і оберненим затвором, що розміщений під ізолюючим шаром і навпроти сформованого каналу. Потенціал для управління носіями протилежного типу провідності прикладений до двох електродів, до накладного електрода і оберненого затвора. Внаслідок цього збільшується напруга, яку витримує польовий транзистор і також стабілізується порогова напруга. Для зміни електрофізичних параметрів транзисторів рентгенівське випромінювання не застосовують. Отримані за цим способом транзистори не володіють радіаційною стійкістю.

Відомий спосіб "Method of manufacturing a semiconductor detector for detecting light and radiation" - (патент США № 6001667, МПК H01L 027/14, 1999 р.), де описаний спосіб виробництва напівпровідникового детектора випромінювання, в процесі якого на поверхні кремнієвої пластини ($R=4\text{кОм}\cdot\text{см}$) формують серію р-канальних МДН-транзисторів у вигляді концентричних кіл. При формуванні МДН-транзисторів застосовують іонну імплантацію BF_2 або BF_3 в кремнієву підкладку з дозою $5\cdot 10^{14}\text{ см}^{-2}$ при енергії 40-80кеВ. Для зміни електрофізичних параметрів МДН-транзисторів рентгенівське випромінювання не застосовують. Отримані за цим способом транзистори не володіють радіаційною стійкістю.

В останні роки набули широкого застосування рідкокристалічні панелі (LCD), як дисплеї в портативних комп'ютерах, в персональних цифрових асистентах (кишенькові комп'ютери), в цифрових відеокамерах, в цифрових фотоапаратах та в мобільних телефонах. Такий перехід обумовлений меншими габаритами, меншою вагою, меншим енергоспоживанням та кращою функціональністю ніж електронно-променеві трубки. Для управління кожним пікселем такого рідкокристалічного дисплея застосовують мініатюрні МДН-транзистори. Так в "Process for fabricating semiconductor device and photolithography mask" - (патент США № 6440802, МПК H01L

021/823.8, 2001 р.), описаний процес виготовлення на напівпровідниковій підкладці МДН-транзисторів з низькою і високою напругою пробою. Технологічний процес включає формування плівки окислу, іонну імплантацію бору, термовідпал і дифузію. В патенті описано, що в процесах фотолітографії можна застосовувати рентгенівське опромінення для впливу на позитивний чи негативний фоторезист. Отримані за цим способом транзистори не володіють радіаційною стійкістю.

Відомий спосіб "Semiconductor and a method for manufacturing an oxide film on the surface of a semiconductor substrate" - (патент США № 6221788, МПК H01L 021/44, 2001 р.), де описаний процес виготовлення кремнієвих МДН-транзисторів і напівпровідникових конденсаторів, що є структурними елементами запам'ятовуючих пристроїв з довільним порядком вибірки (DRAM). В процесі виготовлення транзистора використовують кремнієву підкладку р-типу (100) з питомим опором (10-15)ом·см, формують першу окисну плівку (1-20нм), формують металічну плівку (0.5-30нм), яка служить каталізатором при формуванні окисної плівки. Як каталізатор застосовують платину або паладій, другу окисну плівку формують нагріванням поверхні кремнію до 600°C в атмосфері сухого кисню. Для оцінки якості очистки поверхні кремнію від природних окислів досліджують фотоелектронний спектр рентгенівського опромінення підкладки. Для цього застосовують установку ESCALAB 220i-XL з випромінюванням K_{α} -Al з енергією 1487eВ. В описаному винаході рентгенівське опромінення використовують лише для оцінки якості обробки поверхні напівпровідникової пластини, а не для впливу на електрофізичні характеристики МДН-транзисторів.

Найближчим за технологічною суттю прототипом є "Semiconductor device and method of manufacturing the same" - (патент США № 6380036, МПК H01L 021/336, 2002 р.), який базується на отриманні кремнієвих МДН-транзисторів, що включає легування бором кремнієвої підкладки р-типу провідності для формування пари областей n- провідності на поверхні кремнієвої підкладки, формування затворного електрода з підзатворним діелектриком на основі SiO_2 . Затвор формується в області між парою областей витік/стік з ізолюючим шаром між ними. На поверхні кремнію формується область імплантації азоту з максимальною його концентрацією. Глибина імплантації азоту від поверхні кремнієвої підкладки не перевищує 500Å. Стверджується, що таку транзисторну структуру можна легко мініатюризувати.

Описаний спосіб є близьким до способу, що заявляється, а його недоліком є те, що в технологічному процесі не застосовується рентгенівське опромінення для керування електрофізичними параметрами МДН-транзистора (густина поверхневих станів, порогова напруга, радіаційна стійкість) і отримані МДН-транзистори мають обмежене застосування в умовах підвищеної радіації.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалити спосіб отримання кремнієвих МДН-транзисторів шляхом введення в технологічний процес обробки отриманих транзисторних структур рентгенівськими променями, що дозволить покращити їх електрофізичні параметри і підвищити радіаційну стійкість.

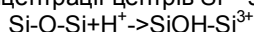
Поставлена задача вирішується так, що у відомому способі отримання кремнієвого МДН - транзистора, що включає формування пари n+ областей провідності на поверхні кремнієвої підкладки р-типу шляхом дифузії бору і формування електродів стоку і витоку, формування підзатворного діелектрика на основі SiO_2 і формування затворного електрода, проведення процесів пасивації, отриману транзисторну структуру з довжиною каналу 3-10мкм і шириною 50мкм опромінюють рентгенівськими променями при потужності експозиційної дози немонохроматизованого випромінювання 870Р/с на протязі 5-20 хвилин, причому опромінення проводять при температурі 430К і на затвор МДН-транзистора подають від'ємне зміщення величиною 10В.

Суттєвість відмінних ознак підтверджується тим, що авторам невідомі способи отримання МДН-транзисторів, які використовують ці ознаки для розв'язування існуючої задачі.

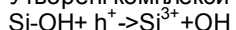
Відомо, що опромінення транзисторної структури рентгенівськими променями приводить до генерації радіаційних дефектів в підзатворному діелектрику SiO_2 та на границі розділу $Si-SiO_2$, утворенні електричних зарядів та їх просторовому перерозподілу. Перехідна область між $Si-SiO_2$ досягає величини 20нм і дефекти, які там утворюються є електроактивними центрами.

Густина поверхневих станів в кремнії залежить від кристалографічної орієнтації підкладки, для орієнтації (100) вона мінімальна, для (111) - максимальна, для (110) - має проміжне значення. При рентгенівському опроміненні МДН-транзисторів протягом 10хв, зменшується густина поверхневих станів в матеріалі. Густина поверхневих станів відіграє важливу роль в формуванні електрофізичних властивостей транзистора, оскільки цей параметр впливає на генерацію та перерозподіл зарядів.

Дія рентгенівського випромінювання на МДН-транзистор супроводжується звільненням електронів з поверхневих станів міжфазової границі $Si-SiO_2$ і з при поверхневого шару та їх тунелювання в приграничний шар SiO_2 з наступною рекомбінацією на донорних пастках цього шару. В ролі таких пасток виступають трьохвалентні атоми Si^{3+} . Одночасно відбувається звільнення протонів з водневмісних комплексів поверхневих станів границі розділу $Si-SiO_2$ та їх дифузія в об'єм окислу SiO_2 . Зростання цього заряду пояснюється з позицій росту концентрації центрів Si^{3+} з участю іонів водню і може бути описане рівняннями:



Утворені комплекси $SiOH$ внаслідок опромінення розпадаються з захопленням дірки h^+ на зв'язок з Si^{3+}



Вважається, що зсув порогової напруги МДН-транзистора ΔU_{th} обумовлюється двома компонентами ΔU_{Not} і ΔU_{Nit} , де ΔU_{Not} - компонента, яка обумовлює зсув напруги за рахунок радіаційно-індукованого заряду на пастках в підзатворному діелектрику SiO_2 та ΔU_{Nit} - компонента, що обумовлює зсув напруги за рахунок заряду на поверхневих станах $Si-SiO_2$ і тоді $\Delta U_{th} = \Delta U_{Not} + \Delta U_{Nit}$. При рентгенівському опроміненні МДН-транзистора найбільших змін зазнає компонента ΔU_{Not} . Компонента ΔU_{Nit} володіє двохстадійною залежністю з переходом на насичення після 4-5 хв опромінення, що свідчить про зміну механізму формування заряду Q_{it} на поверхневих станах після характерного часу опромінення.

Чутливість процесу опромінення до температури можна пояснити тим, що поряд з процесами стимулюючими радіаційно-індуковані зміни, при кожній температурі має місце відпал рентгено-індукованих дефектів в $Si-SiO_2$.

Експериментально встановлену залежність інтенсивності генерації рентгено-індукованих дефектів від величини і полярності потенціалу на затворі транзистора можна пояснити суттєвою трансформацією каналу

провідності транзистора або зміною потенціального рельєфу міжфазової границі Si-SiO₂ внаслідок дифузійно-дрейфових процесів дефектів на цій границі.

На фіг. 1 зображено принципову схему будови кремнієвого МДН-транзистора, де 1 - витік, 2 - затвор, 3 - підзатворний діелектрик, 4 - стік, 5, 6 - n+ - області, 7 - монокристалічна підкладка p-Si.

На фіг. 2 зображено залежність поверхневої густини станів від часу опромінення МДН-транзистора, з довжиною каналу 3мкм, при різних температурах: 1 - T=290K, 2 - T=360K, 3 - T=380K, 4 - T=430K. Крива 4 вказує на появу радіаційної стабільності в МДН-транзистора.

На фіг. 3 зображено залежність поверхневої густини станів від часу рентгенівського опромінення МДН-транзистора з довжиною каналу 10мкм, при різних температурах, 1 - T=290K, 2 - T=360K, 3 - T=380K, 4 - T=430K. Крива 4 вказує на появу радіаційної стабільності в МДН-транзистора.

На фіг. 4 зображено залежність компонент порогової напруги від часу опромінення МДН-транзистора з довжиною каналу 4мкм.

(зміщення на затворі +10В) 1- компонента $\Delta U_{N_{it}}$ +, 2- зсув порогової напруги ΔU_{th} +, 3- компонента $\Delta U_{N_{ot}}$ +

(зміщення на затворі -10В) 4- компонента $\Delta U_{N_{it}}$ -, 5- зсув порогової напруги ΔU_{th} -, 6- компонента $\Delta U_{N_{ot}}$ -

(зміщення на затворі 0В) 7- зсув порогової напруги ΔU_{th0} .

На фіг. 5 зображено залежність густини станів від часу рентгенівського опромінення МДН-транзистора з довжиною каналу 3мкм при різних значеннях зміщення на затворі: 1 - U=0В; 2 - U=-10В; 3 - U=+10В. Крива 3 не має продовження оскільки після 2хв. опромінення транзистор виходить з ладу внаслідок пробією діелектрика.

Техніко-економічна ефективність пропонованого способу у порівнянні з прототипом полягає у покращенні електричних параметрів МДН-транзисторів та їх експлуатаційних характеристик: зменшенні густини поверхневих станів, зменшенні величини порогової напруги, та підвищенні радіаційної стійкості.

Докази цього полягають у наступному: опромінення кремнієвих МДН-транзисторів рентгенівськими променями приводить до зменшення густини поверхневих станів, які приймають участь в генерації та перерозподілі зарядів; опромінення кремнієвих МДН-транзисторів рентгенівськими променями приводить до зменшення їх порогової напруги, що підвищує чутливість транзисторів; опромінення кремнієвих МДН-транзисторів рентгенівськими променями приводить до підвищення їх радіаційної стійкості, що збільшує термін їх надійної експлуатації (крива 4 на фіг. 2 і 3 після 10-хвилинного опромінення не змінюється з часом); транзистори, опромінені рентгенівськими променями, зберігають підвищені електрофізичні параметри протягом всього періоду експлуатації.

Запропонований спосіб можна проілюструвати наступними прикладами.

Приклад 1. n-канальні тестові МДН-транзистори з полісиліконовим затвором виготовляють по заводській технології на кремнієвій основі з довжиною каналу L=3мкм і шириною 50мкм. Вихідним матеріалом для виготовлення транзисторів служать леговані бором підкладки кремнію (КДБ-100) з орієнтацією (111) і величиною питомого опору 200м·см. Джерелом рентгенівського випромінювання служить апарат "РЕЙС-І" з мідним антикатодом. Робочий струм при опроміненні становить 100ма при прискорюючій напрузі 30кВ. Потужність експозиційної дози немонахроматизованого випромінювання розрахована згідно інструкції по експлуатації становить $P_e=870P/c$, розрахована доза випромінювання становить $2 \cdot 10^5$ рад/хв. Розрахунок дози випромінювання проводять згідно методики, описаної в Гуртов В.А., Камбалін С.А., Назаров А.П. Поверхність, 1984, т. 3, № 6, с.114. Опромінення транзисторної структури рентгенівськими променями проводять при температурі 430K на протязі 5хв. Зміщення на затворі МДН-транзистора становить -10В. Вимірювання вольт-амперних характеристик транзисторів (ВАХ) здійснюють на промисловій установці "Зонд-А5". Для розрахунків використовують криві підпорогових струмів $I_D(U_G)$ транзисторів при різних дозах рентгенівського опромінення. Результати розрахунків радіаційно-індукованих зсувів компонент $\Delta U_{N_{it}}, \Delta U_{N_{ot}}, \Delta U_{th}$ отримують згідно методики, описаної в роботі: Mc. Whorter F.J., Whinokur P.S. Simple technique for separating the effects of interface traps and trapped-oxide charge in metal-oxide-semiconductor transistor //Appl. Phys. Lett.-1986.-48. №2.-P. 133-134. Відносне зменшення поверхневої густини станів становить 10% . Зменшення порогової напруги становить 1.3В.

Приклад 2. Аналогічно до прикладу 1 виготовляють n-канальні тестові МДН-транзистори з полісиліконовим затвором по заводській технології на кремнієвій основі з довжиною каналу L=4мкм і шириною 50мкм. Опромінення рентгенівськими променями триває 10хв при температурі 430K. Відносне зменшення поверхневої густини станів становить 9.6%. Зменшення порогової напруги становить 1.35В.

Приклад 3. Аналогічно до прикладу 1 виготовляють n-канальні тестові МДН-транзистори з полісиліконовим затвором по заводській технології на кремнієвій основі з довжиною каналу L=10мкм і шириною 50мкм. Опромінення рентгенівськими променями триває 20хв при температурі 430K. Відносне зменшення поверхневої густини станів становить 11%. Зменшення порогової напруги становить 1.4В.

Використання запропонованого способу дозволяє покращити електрофізичні параметри та радіаційну стійкість МДН-транзисторів, що підтверджує передбачуваний технічний результат.

Пропонований спосіб можна застосовувати не тільки в лабораторних, а також в промислових масштабах при виробництві кремнієвих МДН-транзисторів.

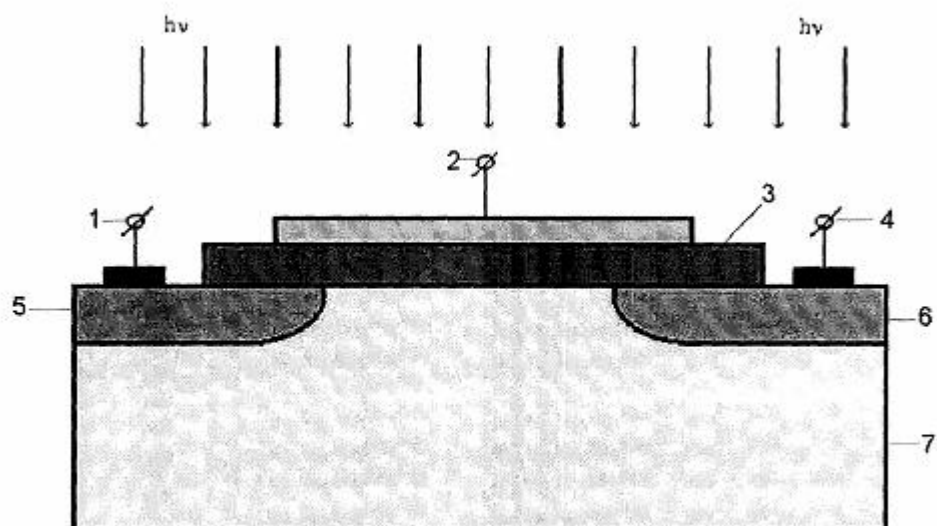


Fig. 1

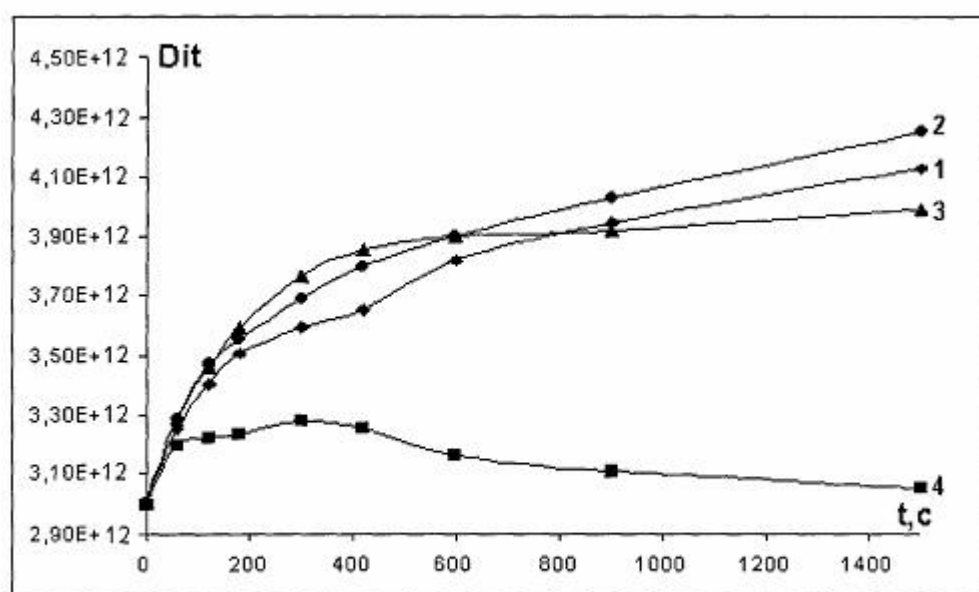
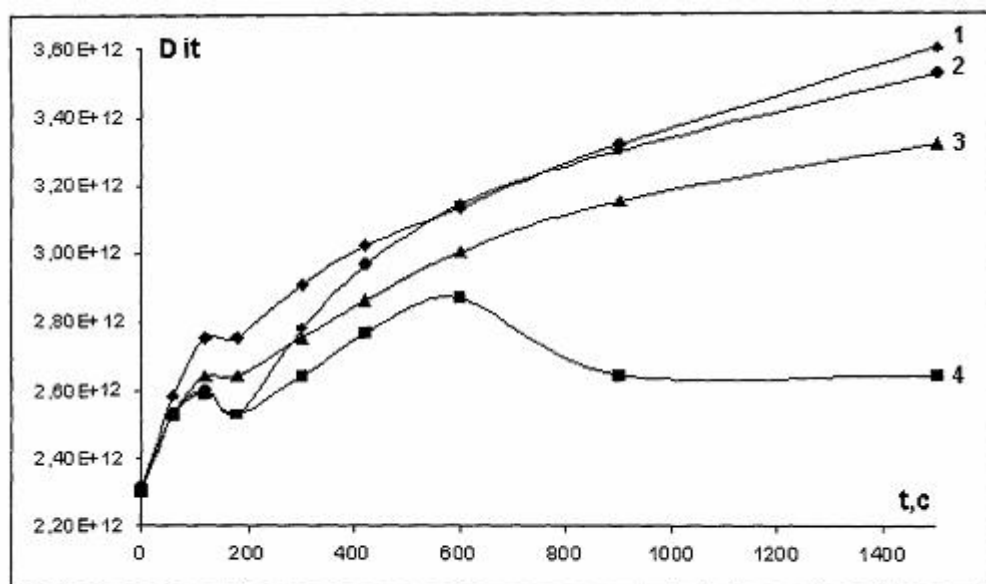
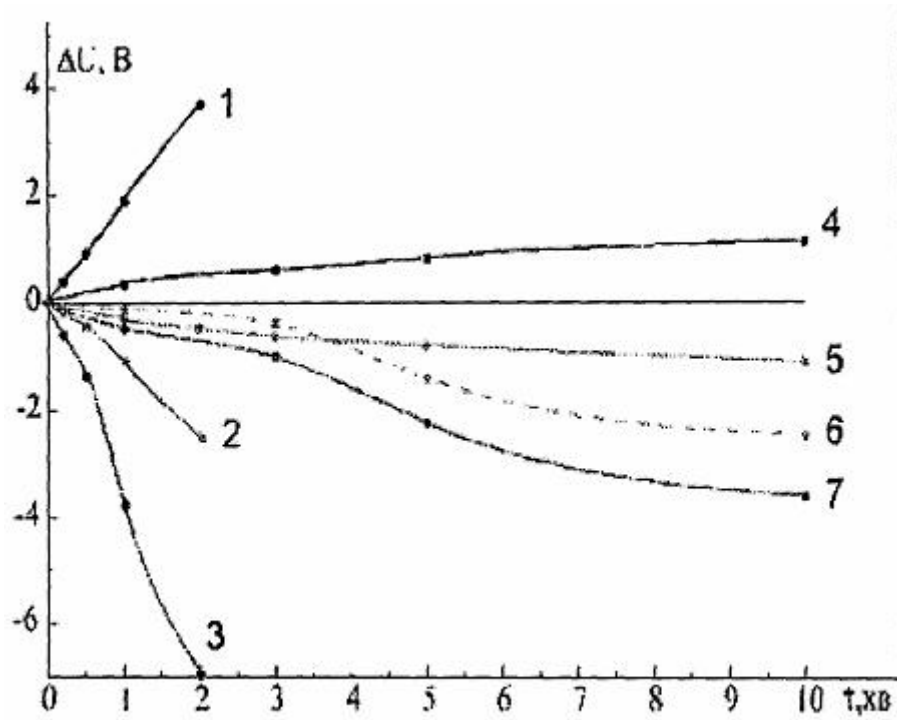


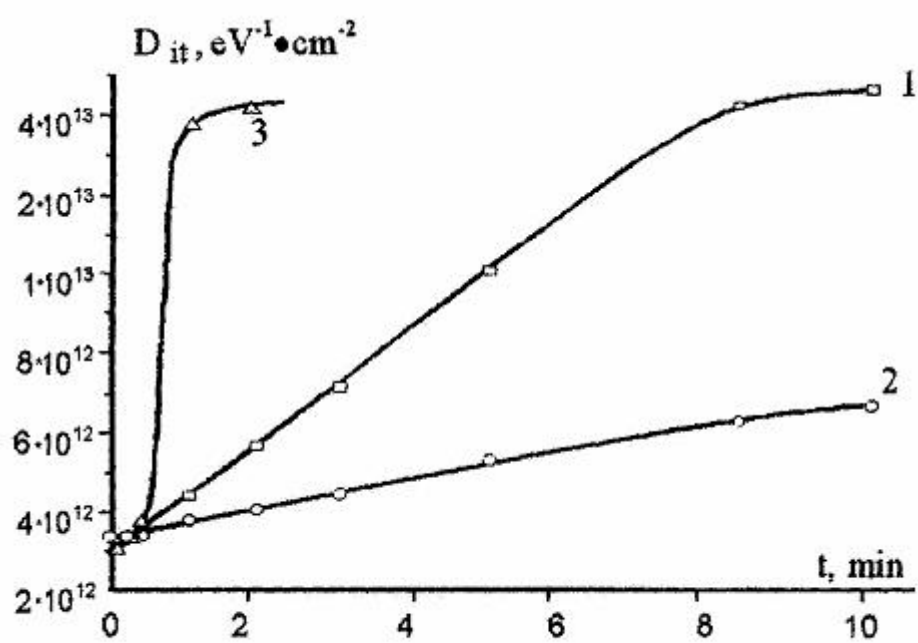
Fig. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5