



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 50972

(13) A

(51) 6 G01N27/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДВидається під  
відповідальність  
власника  
патенту(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ МАС В ТОНКИХ СТРУМОПРОВІДНИХ КАНАЛАХ  
ТРАНЗИСТОРНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУР

1

2

(21) 2001107300

(22) 26 10 2001

(24) 15 11 2002

(46) 15 11 2002, Бюл. №11, 2002 р.

(72) Жарких Юрій Серафимович, Лисоченко Сергій  
Васильович, Третяк Олег Васильович(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА(57) Спосіб визначення ефективних мас в тонких  
струмопровідних каналах транзисторних  
напівпровідникових структур, який включає  
одночасну дію на матеріал направлених взаємно

перпендикулярно магнітного і електричного полів і наступне дослідження наслідків одночасного їх впливу на рух вільних носіїв заряду, який відрізняється тим, що постійне магнітне поле направляє перпендикулярно поверхні зразка, електричне поле є постійним і його прикладають між електричними контактами, приєднаними до струмопровідного каналу, планарна топологія яких призначена для вимірювань холівської рухливості, а дослідження проводять при температурі, що лежить в інтервалі від 4 до 10 К

Винахід відноситься до галузі фізики поверхні напівпровідників, зокрема досліджень властивостей поверхневих і приповерхневих шарів напівпровідників і процесів переносу вільних носіїв заряду в таких шарах і може бути використаний в мікроелектроніці при створенні і оптимізації характеристик елементів інтегральних схем, зокрема створення надшвидкодійних транзисторів на основі кремнію і арсеніду галія

Існують різновиди способу вимірювань ефективних мас вільних носіїв заряду, основою яких є явище циклотронного резонансу [1]. На досліді вимірюють частоту  $\omega$  надвисокочастотної електромагнітної хвилі, за якої виникає резонанс між електричним полем хвилі, що нормально падає на досліджуваний зразок і періодичним рухом електронів в постійному магнітному полі з циклотронною частотою  $\omega = eB/m^*$ , де  $e$  – заряд електрона,  $B$  – індукція магнітного поля,  $m^*$  – ефективна маса електрона. Визначивши значення резонансної частоти  $\omega = \omega_c$  при відомому значенні  $B$  можна розрахувати ефективну масу  $m^*$ . Для того, щоб електрони могли здійснювати періодичний рух необхідні великі значення добутку циклотронної частоти  $\omega_c$  на час релаксації  $\tau$ . Фізично це означає, що рух електронів має відбуватися по циклотронним орбітам, лише зрідка спотвореними актами розсіяння. Тому умова резонансу  $\omega = \omega_c$ , виконується тільки в діапазоні

вкрай високих частот  $\omega > 1 - 100 \text{ ГГц}$  і великих значень індукції магнітного поля  $B = 1 - 10 \text{ Тл}$ , що викликає значні експериментальні труднощі. Важливим недоліком різновидів цього способу вимірювань є необхідність проведення вимірювань в умовах наднизьких температур  $T$ , набагато менших за температуру рідкого гелію 4,2 К, що викликає необхідність виключити залежність часу релаксації і від температури  $T$ .

Найбільш близьким за своєю технічною сутністю і досягаемому технічному результату до заявляемого являється спосіб вимірювання ефективних мас, що включає одночасне накладання на зразок постійного магнітного поля і надвисокочастотної електромагнітної поля, причому постійне магнітне поле направлено паралельно поверхні зразка, а вектор електричної компоненти електромагнітного поля направлений перпендикулярно до вектора індукції постійного магнітного поля  $B$  [2]. Змінюючи частоту надвисокочастотної поля  $\omega$  при постійній індукції магнітного поля  $B$ , або величину індукції магнітного поля  $B$  за постійного значення частоти  $\omega$  фіксують точку резонансного поглинання електромагнітної енергії при  $\omega = \omega_c$  і відповідно одержують вихідні дані для обчислення  $m^*$ . Базовою умовою можливості спостереження резонансу є співвідношення  $l \gg r_H \gg \delta$ , де  $l$  –

(13) A

(11) 50972

(19) UA

довжина вільного пробігу,  $r_H$  – радіус циклотронної орбіти електрона,  $\delta$  – товщина скін-шару, на яку мікрохвильове поле проникає в зразок. В цьому випадку рух електрона відбувається по спіралі вздовж поверхні, а електрон взаємодіє з електричною складовою мікрохвильового випромінювання тільки в моменти проходження його через скін-шар досліджуваної речовини. Якщо електричне поле буде мати одну і ту саму фазу при кожному проході електрона через скін-шар, то електрон буде резонансно поглинати енергію поля. Відомо, що товщина скін-шару  $\delta$  змінюється в дуже широкій межі в залежності від питомої провідності досліджуваного зразка  $\sigma$ . Тому практичне застосування наведеного способу-прототипу обмежується вузькими рамками речовин, дослідні зразки яких мають високу і однорідну по глибині питому провідність  $\sigma$ , причому товщина зразка повинна в декілька раз перевищувати радіус циклотронної орбіти електрона  $r_H$ .

Підсумовуючи, можна стверджувати, що комплекс експериментальних умов необхідних для реалізації способів-аналогів вимагає використання складного наукового обладнання, яке важко реалізувати при дослідженні багатьох важливих для практичного застосування напівпровідників і неможливо використати для вимірювань на шаруватих мікроелектронних структурах, виготовлених на їх основі.

В основу винаходу поставлено задачу створення способу визначення ефективних мас в тонких струмопровідних каналах напівпровідникових структур шляхом застосування нової просторової орієнтації індукції постійного магнітного поля  $B$ , заміни надвисокочастотного електромагнітного поля постійним електричним полем  $E_{sd}$  і проведення досліджень при низькій температурі забезпечити можливість визначення ефективних мас  $m^*$  в тонких струмопровідних каналах шаруватих транзисторних напівпровідникових структур і значно спростити реалізацію необхідних фізичних умов експериментальних досліджень.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб визначення ефективних мас в тонких струмопровідних каналах транзисторних напівпровідникових структур який включає дію на матеріал направлених взаємоперпендикулярно магнітного і електричного полів і наступне дослідження наслідків одночасного їх впливу на рух вільних носіїв заряду, відповідно до винаходу, постійне магнітне поле з індукцією  $B$  направляють перпендикулярно поверхні зразка, електричне поле  $E_{sd}$  є постійним і його прикладають між електричними контактами приєднаними до струмопровідного каналу, планарна топологія яких призначена для вимірювань холівської рухливості, а дослідження проводять при температурі, що лежить в інтервалі від 4-10К.

На кресленні наведена планарна конфігурація дослідних зразків і розподіл електричного потенціалу в них для конкретного способу реалізації вимірювань методом  $e r c$  Хола. Жирними лініями позначені електричні контакти за номерами 1-5 до струмопровідного каналу. Між

контактами 1 і 4 прикладено електричне поле  $E_{sd}$ . Контакти 2 і 3 слугують для вимірювання величини попероздовжнього електричного поля, а контакти 2 і 5 Холівського поля.

В способі, що заявляється, сукупність суттєвих ознак робить можливим визначення ефективних мас в тонких струмопровідних каналах транзисторних напівпровідникових структур. Електричні контакти 1-5 показані на кресленні дозволяють точно локалізувати місце прикладання електричного поля і тим самим досліджувати визначені струмопровідні канали в багатощарових напівпровідникових структурах. Застосування топології контактів, що призначені для вимірювань Холівської рухливості дозволяє досліджувати одночасний вплив електричного і магнітного полів на рух вільних носіїв заряду при застосуванні постійного електричного поля замість електричної компоненти мікрохвильового поля і приблизно в 100-1000 разів зменшити величину індукції магнітного поля  $B$ , до значень, що необхідні для проведення Холівських вимірювань в слабких магнітних полях. Разом це дозволяє значно спростити реалізацію необхідних фізичних умов експериментальних досліджень. Проведення досліджень при температурі, що лежить в інтервалі від 4-10К дозволяє виконати фізичні умови переносу вільних носіїв заряду, необхідні для реалізації заявляемого способу. Перше, в тонкому струмопровідному каналі реалізується розмірне квантування руху газу вільних носіїв заряду, який обмежено в напрямі перпендикулярному поверхні. Друге, в вказаному температурному інтервалі розсіяння вільних носіїв заряду відбувається майже виключно на заряджених центрах. Проведення досліджень у вказаному температурному інтервалі дозволяє розрахувати величину ефективної маси  $m^*$  вільних носіїв заряду на основі експериментальних залежностей рухливості  $\mu$  і концентрації  $\Gamma$  від температури  $T$ .

Послідовність проведення досліджень і необхідних розрахунків включає в себе:

Визначення холівської рухливості  $\mu$  і концентрації  $\Gamma$  при температурі  $T \approx 4-10K$  за відомими методиками струму або  $e r c$  Хола [3].

Визначення густини заряджених центрів  $N$ , на яких відбувається розсіяння вільних носіїв заряду, виходячи з відомої густини поверхневого заряду  $Q_s$  на межі поділу фаз струмопровідний канал – шар діелектрика. Величина  $N$  розраховується за формулою  $N = Q_s/e$ . В практично важливому випадку структури типу МДН-транзистора на кремнії з індукованим каналом, густина центрів  $N$  визначається виходячи з його порогової напруги  $V_{th}$  товщини шару ізолятора  $d$  по формулі

$$N = \frac{4\pi\epsilon_s\epsilon_0 V_{th}}{d} \quad (1)$$

де  $\epsilon_s$  діелектрична проникність діелектрика.

На основі відомих значень  $\mu$ ,  $\Gamma$  і  $N$  можна визначити величину  $(m^*)^2$  і відповідно  $m^*$ , виходячи з формули одержаної в роботі [4]

$$\mu = \frac{e^2 h \Gamma}{\pi^4 e^3 (m^*)^2 N} \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  – діелектрична проникність зразка,  $h$  – постійна Планка

Аналіз, що базується на співставленні з прототипом, показує, що заявляемый спосіб визначення ефективних мас в тонких струмопровідних каналах транзисторних напівпровідникових структур відрізняється тим, що індукція постійного магнітного поля  $B$  направлена перпендикулярно до поверхні зразка, електричне поле  $E_{sd}$  є постійним і його прикладають між електричними контактами приєднаними до струмопровідного каналу, планарна топологія яких призначена для вимірювань холівської рухливості, а дослідження проводять при температурі що

лежить в інтервалі від 4-10K

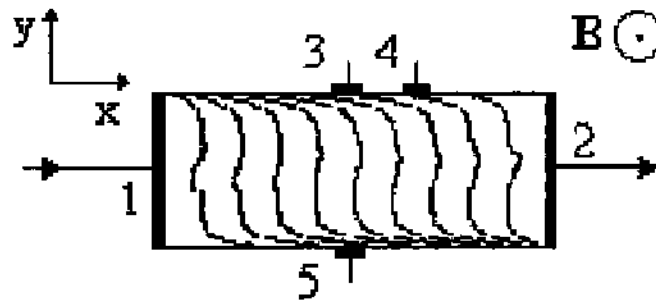
#### Література

1 Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела пер. с англ. А.С. Михайлова, под ред. проф. М.И. Каганова, М., Мир, 1979, т.1, С. 278

2 М.Я. Азбель, Э.А. Капер, ЖЭТФ 32, 896, 1956

3 Е.В. Кучис. Методы исследования эффекта Холла. М. Сов. Радио, 1974, 328с

4 Ю.С. Жарких, С.В. Лысоченко. Письма в ЖЭТФ 35, №5, 204-206, 1982



Фіг.

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 – 32 – 71