

АНАЛІЗ ТЕМНОВОГО СТРУМУ ФОТОДІОДІВ ПРИ ОДНОЧАСНІЙ ДІЇ КОМБІНАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА МАГНІТНОГО ПОЛІВ

Показано, що зменшення темного струму кремнієвих фотодіодів під впливом комбінації постійних електричного та магнітного полів зумовлено збільшенням часу життя неосновних носіїв струму.

It was shown, that the reduction of the dark current of the silicon photodiodes under the influence of the combination of constant electric and magnetic fields brings about the increasing of the time of the life of non-baicide bearer of the current.

Під впливом певної комбінації постійного електричного поля та магнітного поля тороїдної природи (надалі КП) спостерігається зменшення темного струму кремнієвих фотодіодів [1]. Явище пояснюється як поверхневими ефектами, так і рухом дислокацій в об'ємі кристала фотодіода. В нашій роботі досліджується, яка саме складова темного струму підпадає під вплив КП.

Величина темного струму I_t є сумою трьох складових – генераційної, дифузійної та поверхневої [2]. Дифузійна складова темного струму зумовлена дифузійним характером збору неосновних носіїв струму (ННС) у нейтральній області і визначається їх дифузійною довжиною, або часом життя. Дифузійна складова визначається без урахування зміщення на p - n переході. Генераційна складова зумовлена збором ННС у збідненій області W , яка утворюється в кристалі фотодіода завдяки зміщенню на p - n переході. Поверхнева складова темного струму залежить в основному від якості обробки поверхні фоточутливого елемента та його периферії, а саме: якості межі розподілу кремній – окисел кремнію та величини вбудованого в окисел заряду. Загальноприйнято враховувати поверхневу та об'ємну складові темного струму.

Визначити, яка саме складова підпадає під вплив КП, запропоновано шляхом дослідження поведінки чутливості та темного струму фотодіодів, що оптимізовані для реєстрації короткохвильової складової оптичного випромінювання у діапазоні $\lambda=0,3\div0,63$ мкм. Оптимальним приладом для розв'язання цього питання є фотодіоди типу ФД288А на основі кремнію. Вони мають мілкий p - n перехід, глибина залягання якого

0,3–0,5 мкм. Така конструкція дозволяє реєструвати випромінювання з глибиною поглинання від 0,3 мкм, що відповідає довжині хвилі 0,3–0,4 мкм. Стабільність чутливості в часі до ультрафіолетового діапазону оптичного випромінювання згідно з [3] безпосередньо залежить від стану межі розподілу кремній-окисел кремнію. Отже, зміна короткохвильової струмової монохроматичної чутливості буде вказувати на зміну саме стану поверхні фоточутливого елемента, а відтак і поверхневої складової темного струму.

У КП, яка використана в дослідженнях, напруженість електричного поля складала 4000 В/см. Вплив здійснювався через конічну поверхню, яка є своєрідним пристроєм для фокусування (підсилення) випромінювання [1]. Відстань до фотодіодів від джерела впливу встановлювалась 50–70 мм. Час опромінення – 30 хвилин. Вимірювання струмової монохроматичної чутливості у діапазоні довжин хвиль $0,3\div0,55$ мкм здійснювалось за допомогою монохроматора МДР-3 шляхом порівняння з чутливістю контрольного фотодіода. Чутливість на довжині хвилі 0,63 мкм вимірювалась за допомогою гелій-неонового лазера ЛГ-61 за аналогічною методикою. Вимірювання здійснювались до та після впливу КП. Під час впливу поля знімалась вольтамперна характеристика фотодіодів.

На протязі перших хвилин опромінення темновий струм, при робочій напрузі 1 В, знижується від 15 до 30% у різних фотодіодів, що вказує на наявність впливу КП. При збільшенні робочої напруги до напруги пробою –35 В відбувається подальше зменшення темного струму.

Поведінка ВАХ вказує на зміни, що відбуваються у кристалі фотодіода під впливом КП, тоді як їх короткохвильова чутливість практично не змінюється. Відповідно не змінюється і стан межі розподілу кремній-окисел кремнію.

Отже, результати досліджень показують:

1. Під впливом КП у приповерхневому шарі кристала фотодіода (глибина до 0,5 мкм) змін не відбувається. Величина вбудованого заряду на межі розподілу не змінюється. Отже, вплив здійснюється не на поверхневу складову темного струму.

2. Під впливом КП не змінюється дифузійна складова темного струму, яка вимірювалась у фотогальванічному режимі роботи ($U_p=0$ В). Принаймні при напрузі 10 мВ зміни не перевищують похибки вимірів – 5%.

3. Під впливом КП змінюється генераційна складова темного струму, зумовлена збором ННС у збідненій області, яка вимірювалась у фотодіодному режимі роботи ($U_p \neq 0$ В). Зміна I_g сягає 30% у перші 30 хвилин дії КП.

Відомо, що генераційний струм, який протікає через $p-n$ перехід, визначається згідно з [2] як: $I_g = qn_i W / \tau$, де q - заряд електрона, n_i - власна концентрація носіїв струму. Найбільш вразливим елементом, що входить у вираз для генераційного струму, є час життя ННС τ . З наших дослідів випливає, що під впливом КП τ має збільшуватись, як неважко підрахувати, приблизно на 40%. Цікаво, що приблизно на стільки ж зменшується в середньому час життя ННС у вихідному кремнії внаслідок термічних операцій.

Для перевірки припущення щодо часу життя ННС його зміну можна помітити, оцінюючи поведінку довгохвильової чутливості фотодіода ФД288А під впливом КП, наприклад, на довжині хвилі 1,06 мкм. Глибина поглинання такого випромінювання складає близько 1 мм. Кристал фотодіоду, як правило, має товщину до 0,5 мм.

Отже, запропоноване випромінювання "просвітлює" всю товщу кристала і збуджує фотогенеровані носії струму в усьому його об'ємі. Вимірювання здійснювалось за допомогою генератора світлових сигналів ПГС-15. Тривалість світлового імпульсу 6 мкс при частоті повторення 1 мс. Час зростання фотодіода близько 1 мкс, що забезпечує йому чутливість до обраного джерела випромінювання. Установка для досліджень дозволяла одночасно обробляти фотодіоди КП та оптичним випромінюванням.

Виявилося, що чутливість фотодіодів на довжині хвилі $\lambda=1,06$ мкм під впливом КП змінюється до 10–12 %. Однак ця зміна має місце лише при опроміненні. Отриманий результат - попередній і потребує подальшого дослідження.

Варто зазначити, що під час досліджень активність роботи джерела КП спостерігається нерегулярно. Одні й ті ж прилади певний період часу можуть не реагувати на опромінення. Такі періоди тривають по декілька днів. При цьому ніяких змін ні в умовах проведення експериментів, ні в зовнішньому контрольованому середовищі не спостерігалось. Для виявлення причин такого стану потрібно проведення подальших досліджень.

Автори висловлюють подяку пп. Шимановському А.Б. та Остапенко В.П. за допомогу у здійсненні вимірів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ащеулов А.А., Добровольський Ю.Г., Романюк І.С. Дослідження впливу певних комбінацій електричного та магнітного полів на властивості напівпровідникових приладів // Науковий вісник ЧДУ. Вип. 29: Фізика. - Чернівці: ЧДУ, 1998. - С.173-176.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2 т. - М.: Мир, 1984. Т.1.
3. Кувалдин Э.В. Метод градуировки фотоприемников и фотоприемных устройств // Импульсная фотометрия. Вып.8. - М.: Машиностроение, 1984.