УДК 621.382(088.8)

ГОДОВАНЮК В.М., ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ Ю.Г.,
РЮХТІН В.В.

КРЕМНІЄВИЙ ФОТОДІОД З НИЗЬКИМ РІВНЕМ ПОВЕРХНЕВОЇ СКЛАДОВОЇ ТЕМНОВОГО СТРУМУ

Досліджується конструкція фотодіоду, що забезпечує низький рівень темнового струму фоточутливого елементу. Ефект досягається завдяки розриву інверсійних шарів, які виникають в приповерхневій області на границі розділу кремній-оксид кремнію навколо контакту до фоточутливого елементу. Досягнута густина темнового струму складає $1 \cdot 10^{-10}$ А/см^2.

Однією з основних причин зростання темнового струму напівпровідникових p-n переходів, в тому числі на основі кремнію, є наявність інверсійних шарів поблизу поверхні розділу напівпровідник-діелектрик, які виникають внаслідок присутності фіксованого заряду в діелектрику [1,2]. Інверсійний шар збільшує площу p-n переходу, що в свою чергу приводить до збільшення темнового струму.

Для зменшення впливу інверсійних шарів на темновий струм використовуються сильно леговані, так звані ступорні, області [3], ізотипні з матеріалом напівпровідникової підкладки. Ці області ізолюють периферійну частину підкладки від місця виходу p-n переходу на її поверхню. Вони запобігають руху носіїв струму, які генеруються на торцевій частині підкладки і в інверсійних шарах за межами області виходу p-n переходу на поверхню напівпровідникової підкладки.

Як правило, такі області, в залежності від призначення

напівпровідникового приладу, можуть знаходитися на різних відстанях від місця виходу p-n переходу на поверхню. Наприклад, на подвоєну дифузійну довжину неосновних носіїв струму, якщо прилад працює без прикладення зовнішнього зміщення (робочої напруги). У випадку функціонування приладу в умовах прикладення робочої напруги таке зміщення може збільшуватися на ширину області просторового заряду при прикладеній зовнішній напрузі. Якщо робоча напруга така, що область просторового заряду при її наявності ширша, ніж товщина напівпровідникової підкладки, щілина між сильно легованою областю, яка ізотипна до підкладки, і областю виходу p-n переходу на поверхню підкладки формується з врахуванням пробивної напруги, можливої в даному матеріалі при даних умовах роботи напівпровідникового приладу [4].

Всі вище перераховані методи зменшення поверхневої складової темнового струму ніяк не зменшують ту його частину, яка генерується на площі, обмеженій фоточутливим елементом, тобто областю виходу p-n переходу на поверхню напівпровідникової підкладки.

Зниженню поверхневої складової темнового струму сприяє ізоляція контакту до фоточутливої області (локальної області) від його поверхні шаром з таким самим, як і в локальній області, типом провідності з більш високою концентрацією домішок [5]. При цьому у загальний сигнал, що знімається з контакту, не будуть давати вклад струми втрат, оскільки інверсійний шар буде розірваний навколо контакту. В залежності від концентрації носіїв в локальній області глибина залягання шару, який ізолює контакт, може мати різні значення, але повинна бути менша, ніж глибина залягання локальної області, і більша, ніж товщина інверсійного шару, при даній концентрації носіїв струму.

Вказані умови необхідні для того, щоб носії, які генеруються в об’ємі локальної області, могли досягнути контакту з нею. Ширина ізолюючої області вибиралась з умов забезпечення ізоляції контакту від інверсійного шару, а саме, такою, щоб виключити

можливість поверхневого пробою на границі інверсійного шару з ізолюючою областю, де має місце підвищення напруженості електричного поля при робочій напрузі.

На рис.1 схематично зображено розріз запропонованої конструкції фотоприймача на основі кремнію. На напівпровідниковій підкладці 1, наприклад n-типу провідності, через маску окислу 2 сформована локальна область фоточутливого елементу 3 p-типу провідності. На ній присутній шар захисного ізолятора 4 і омічний контакт 5, навколо якого розміщений шар 6 з провідністю p+-типу. З тильного боку підкладки розташований шар з провідністю типу n+, що служить для забезпечення омічного контакту з шаром металу 8.

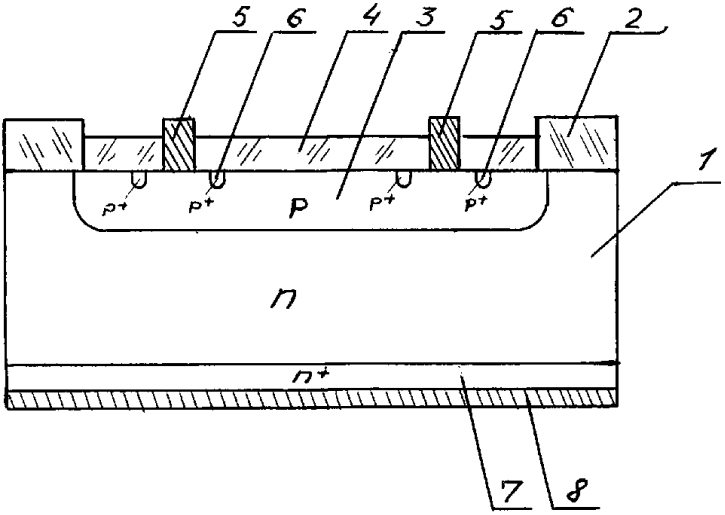

Рис.1. Схематичний розріз фотодіоду.

Глибина залягання локальної області становила 2-3 мкм. Глибина залягання області 6, яка ізолює контакт, становить 5-0.5 мкм. Ширина області 6 складає 100 мкм, що забезпечує надійну роботу конструкції при робочій напрузі до 10В.

При подачі на p-n перехід оберненого зміщення (робочої

напруги), носії струму, що генеруються і збираються в інверсійному шарі та поблизу нього, направляються до омічного контакту, але поширюються вони не далі області p+-типу провідності, яка ізолює контакт від інверсійного шару.

Перевірялись такі параметри виготовлених фотодіодів: величина темнового струму, залежність темнового струму від температури, залежність темнового струму від мінімального часу функціонування.

Для випробування було виготовлено декілька партій фотодіодів, які досліджувалися в таких умовах: робоча напруга 10В, підвищення температури +55°С, тривалість мінімального часу функціонування 500 годин при температурі 55°С.

Результати випробувань показали наступне. Середнє виміряне значення темнового струму (до 10% фотодіодів) складає 10^{-9} А/см^2, 10% виготовлених приладів мали темновий струм до $8 \cdot 10^{-10}$ А/см^2. До 5% приладів показали величину темнового струму $1 \cdot 10^{-10}$ А/см^2. Деградація темнового струму в процесі випробувань на функціонування складає не більше, ніж 30%, при цьому максимальна деградація спостерігається при вимірюванні параметрів через 125 годин роботи. Подальші вимірювання через 250 і 500 годин роботи показують тенденцію до відновлення темнового струму, а саме до 20% у окремих фотодіодів і до 15% у 5% приладів.

Таким чином, темновий струм, що проходить через p-n перехід, стає меншим на величину його поверхневої складової, яка генерується на поверхні локальної області.

До очевидних переваг запропонованого фотоприймача відноситься більш висока надійність, яка виражається в тому, що величина темнового струму в процесі мінімального часу функціонування веде себе більш стабільно.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов.-М: Мир, 1973. - 86с.
2. Амброзяк А. Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов.-М.: Сов.Радио, 1970. - 243с.
3. Wendiand P. Silicon Photodiodes //Electrooptical Systems design. - 1970.-№8.-P.65.
4. А.с. СРСР № 1332081, 1990. p-i-n фотодиод /Вошко, Ю.Г. Добровольский В.В., Добында А.С.
5. Ascheulov A.A., Dobrovolskiy U.G., Godovanjuk V.N., Omelyanchuk V.P. The ways of Diminution of the Surface Composition the Dark Currents of p-n Crossings on the Base of the Halide-Gased Semiconductors // Abstr. 2nd intern. School-Conference on PPMSS 8th-12th of Sep-tember 1997. - Chernivtsi, Ukraine. - 1997.- P.316.

SUMMARY

GODOVANYUK V.M., DOBROVOLSKY Yu.G.,
RYUHTIN V.V.

SI PHOTO DIODE WITH A LOW LEVEL OF SURFACE COMPONENT OF A DARK CURRENT.

Photo diode design, ensuring low level of a dark current in a photosensitive element is investigated. The effect is achieved due to the gap of inversion layers, arising in the subsurface area on Si-SiO_2 division border around contact to a photosensitive element. The resulting dark current density was $1 \cdot 10^{-10}$ A/cm^2.