

ВИКОРИСТАННЯ ПРОЗОРИХ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ПЛІВОК ДВООКИСУ ОЛОВА У КОНСТРУКЦІЯХ МДН-ФОТОТРАНЗИСТОРІВ

Показано, що застосування плівок двоокису олова, як прозорого електропровідного затвору у МДН-фототранзисторі, знижує загальну ефективність перетворення оптичного випромінювання в електричний сигнал через погіршення підсилювальних властивостей МДН-транзистора, а технологічний процес формування плівки створює додаткові ризики зменшення проценту виходу якісних структур.

Ключові слова: МДН-фототранзистор, індукований канал, порогова напруга.

Показано, что применение пленок двуокиси олова, как прозрачного электропроводящего затвора в МДП-фототранзисторе, снижает общую эффективность преобразования оптического излучения в электрический сигнал из-за ухудшения усилительных свойств МДП-транзистора, а технологический процесс формирования пленки создает дополнительные риски уменьшения процента выхода качественных структур.

Ключевые слова: МДП-фототранзистор, индуцированный канал, пороговое напряжение.

It is shown that the use of tin dioxide film as a transparent electroconductive gate in MOS-phototransistor reduces general efficiency of conversion of optical radiation into electric signal because of worse strengthening qualities of MOS-phototransistor, and the technological process of film formation creates additional risks of reducing the percentage of quality structures output.

Key words: MOS-phototransistor, induced channel, threshold voltage.

МДН-структури є основою різноманітних вимірювальних фотоперетворювачів. У багатьох схемотехнічних рішеннях в якості основного фоточутливого елемента використовується МДН-транзистор. Метрологічна характеристика такого перетворювача визначається вольт-амперною характеристикою МДН-транзистора з урахуванням зміни визначальних чинників, що залежать від опромінювання.

Очевидним є прагнення збільшити струм у каналі МДН-фототранзистора у режимі опромінення. Одне з таких конструкторсько-технологічних рішень базується на заміні матеріалу затвору, яким як правило є алюміній, на оптично прозорий. До таких матеріалів належать зокрема, прозорі електропровідні плівки оксидів металів (наприклад, SnO₂, ITO, CdO, ZnO тощо). Проникаючий крізь таку плівку світловий потік генерує нерівноважні носії заряду безпосередньо у каналі МДН-фототранзистора [1, 2], що збі-

льшує його провідність.

Розглянемо доцільність покращення фотоелектричних властивостей МДН-транзистора з ізольованим затвором і індукованим каналом *p*-типу способом, що полягає у виконанні його затвору з оптично прозорої низькоомної плівки двоокису олова SnO₂.

При освітленні порогова напруга МДН-транзистора зменшується на значення фотоЕРС, що генерується на індукованому *p-n* переході канал-підкладка. Однією з моделей, що описує фотоелектричні властивості освітленого МДН-транзистора, є рівняння, що враховує цей ефект [1]:

$$I_C = \frac{\mu_{inv} C_i W}{L} U_{CB} \times \left\{ \left(U_3 - 2\phi^F + (\phi_p^F - \phi^F - V_i) - U_{ПС} + U_t \right) - \left[\frac{2q\epsilon_H \epsilon_0 N_d}{C_i^2} \left(\left| 2\phi^F - \phi_p^F + V_i \right| + U_{ВП} - U_{pn}^F \right) \right]^{1/2} \right\},$$

де μ_{inv} – ефективна рухливість інверсних носіїв заряду в каналі; $C_i = \varepsilon_i \varepsilon_0 / d_i$ – питома ємність підзатворного окислу; W, L – ширина і довжина каналу МДН-транзистора відповідно; U_3, U_{CB} – напруга затвору і напруга стік-витік МДН-транзистора; φ^F – потенціал Фермі в об'ємі напівпровідника; φ_p^F – квазірівень Фермі в ОПЗ; V_i – контактна різниця потенціалів границі напівпровідник–ізолятор; $U_{ПС}$ – потенціал поверхневих станів; U_t – потенціал заряду, захопленого на поверхневі пастки; $U_{ВП}$ – напруга між витком і підкладкою; U_{pn}^F – фото-ЕРС переходу витік–канал–стік–підкладка.

Максимальна фоточутливість МДН-фототранзистора спостерігається у схемі з розміщеною підкладкою, коли фото-ЕРС U_{pn}^F , що виникає на індукованому p - n переході канал–підкладка, сприяє зменшенню порогової напруги МДН-транзистора. Для практичних розрахунків це зменшення визначають за допомогою наближеної формули:

$$\Delta U_{ПОР} = 0,5 \sqrt{U_{pn}^F}.$$

Якщо МДН-фототранзистор функціонує в режимі із шунтованою підкладкою і витком, то на цій ділянці кола фото-ЕРС не виникає ($U_{pn}^F = 0$) і зменшення порогової напруги не спостерігається.

Залежність рухливості нерівноважних носіїв заряду у каналі від освітлення $\mu_{inv}(E)$ є слабшою, ніж термопольова $\mu_{inv}(U_3, T)$, тому для спрощення розгляду задачі її враховувати не будемо.

На крутизну ВАХ МДН-фототранзистора впливає відношення ширини каналу W до його довжини L . Якщо прийняти ширину каналу $W=2000$ мкм, а довжину $L=5$ мкм, то площа каналу МДН-фототранзистора $S_K = W \cdot L = 0,01$ мм². Розрахунки підтверджують, що при базовій концентрації електронів у підкладці $N_d = 2 \cdot 10^{14}$ см⁻³ дифузійна довжина

пробігу нерівноважних дірок при кімнатній температурі

$$L_p = \sqrt{D \cdot \tau_p} = \sqrt{\frac{\mu_p k T \delta_0}{q N_d}} \approx 240 \text{ мкм},$$

$$\left(\mu_p = 450 \frac{\text{см}^2}{\text{Вс}}, \frac{kT}{q} = 0,0259 \text{ В}, \delta_0 = 10^{10} \frac{\text{с}}{\text{см}^3} \right).$$

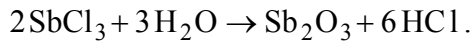
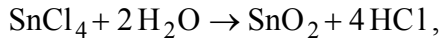
При прямокутній конфігурації затвору площа поверхні ефективного збору нерівноважних носіїв, що досягають область каналу і збільшуючи його провідність, становить майже 1 мм².

Внесок нерівноважних носіїв каналу, згенерованих безпосередньо під затвором, значно менший, адже площа області напівпровідника, де відбувається їх генерація, становить менше 1% загальної площі поверхні фотогенерації. Саме тому непрозорий алюмінієвий затвор МДН-транзистора не слугує фактором, що помітно знижує фоточутливість приладу, а, отже, не потребує заміни на прозору електропровідну плівку.

Чинником, що негативно впливає на фотоелектричні характеристики МДН-фототранзистора, є нанесення електропровідних прозорих плівок SnO₂ на поверхню напівпровідникового кристалу кремнію, в якому сформований МДН-транзистор. Основні технології їх отримання – піроліз хлорних сполук олова, вакуумне випаровування, магнетронне напилення або іонно-плазменне осадження, потребують виконання технологічних операцій, що не передбачені типовим процесом виготовлення інтегральних МДН-транзисторів. Найменш трудомістким вважається процес хімічного осадження SnO₂ на підкладці піролізом чотирихлористого п'ятиводневого олова SnCl₄·5H₂O при температурі 420±10°C.

У конструкціях фотоелектричних приладів досягають компромісу між прозорістю і електропровідністю плівки. Для зміни питомого опору плівки SnO₂ використовують ізотермічний високотемпературний (до 773 К) відпал, що дає змогу досягти питомих

значень опору $1,5 \cdot 10^{-3} \dots 6 \cdot 10^{-4}$ Ом см [3]. Інший спосіб полягає у легуванні плівки SnO_2 сурмою шляхом додавання її хлорної сполуки у водний або спиртовий розчин $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ перед випаровуванням. Процес легування відбувається згідно хімічним реакціям:



Плівка, що утворюється має питомий опір 20...200 Ом/квдрат при товщині 0,25...0,3 мкм, коефіцієнт поглинання $\sim 10\%$ на довжині хвилі випромінювання $\lambda=0,67$ мкм. Залежність питомого поверхневого опору і коефіцієнту поглинання плівки SnO_2 від вмісту SbCl_3 по відношенню до вмісту $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ у розчині наведено на рис.1 [4].

Плівка SnO_2 має добру адгезію зі склом або двоокисом кремнію SiO_2 , що потребує використання спеціальної технології травлення і спеціального травника. Травлення плівки SnO_2 здійснюють 5% водним розчином соляної кислоти HCl у присутності цинку. Порошкоподібний цинк марки ПЦ-2 змішується з водним розчином гліцерину у ваговій пропорції 1:5. Суміш після ретельного перемішування наносять на поверхню плівки, в яку потім додають розчин HCl . Час травлення у нормальних умовах 3–5 хвилин. Продукти травлення після закінчення процесу змивають водою.

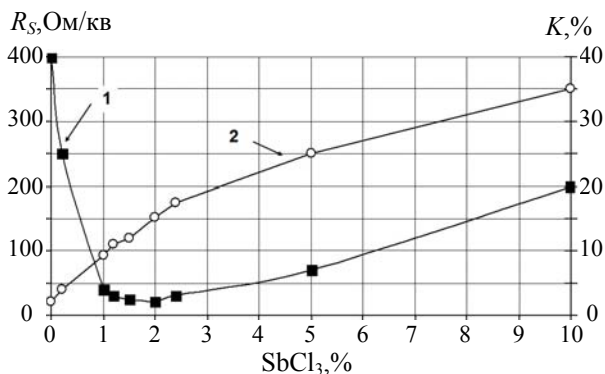


Рис. 1. Питомий поверхневий опір R_s (1) та коефіцієнт поглинання випромінювання K (2) на довжині хвилі $\lambda=0,67$ мкм плівки SnO_2 в залежності від концентрації легуючої домішки SbCl_3 у розчині $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Аналіз технологічного процесу утворення прозорого затвору з плівки SnO_2 свідчить про те, що на границях розділу системи $\text{Si-SiO}_2\text{-SnO}_2$ має місце значне зростання щільності поверхневих електронних станів, що обумовлює зменшення рухливості дірок в інверсному шарі [5, 6]. Легування плівки Sb з наступним травленням у травнику з вмістом цинку підвищує ймовірність дифузії атомів цих речовин крізь тонкий шар підзатворного діелектрика, що негативно впливає на якість електричних характеристик МДН-транзистора. Авторські дослідження підтверджують, що МДН-фототранзистор з півкою SnO_2 в якості електроду затвору має меншу крутизну ВАХ і відсоток виходу придатних структур у порівнянні з МДН-транзистором з алюмінієвим затвором з однаковими конструктивними параметрами.

Відомо також, що поверхня плівки SnO_2 володіє високими адсорбційними властивостями і реакційною здатністю, що обумовлює її використання в якості чутливого елемента, наприклад, перетворювачів концентрації газу [7]. Нестабільність електрофізичних властивостей електроду затвору МДН-транзистора, електрофізичні властивості якого є нестабільними, призводить до деградації електричних параметрів фотоперетворювача в часі.

Отже, загальні зусилля, спрямовані на підвищення фоточутливості МДН-транзистора за рахунок використання плівки SnO_2 перевершують корисний ефект від їх впровадження. Формування одного або декількох електродів за допомогою прозорих електропровідних плівок в інтегральній структурі з МДН-транзистором з алюмінієвим затвором недоцільне, оскільки створює додаткову технологічну ланку в стандартному груповому процесі виготовлення мікросхеми і стимулює прояв факторів ризику. Тому збереження традиційної технології виготовлення МДН-фототранзистора з алюмінієвим затвором економічно і функціонально виправдане.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Клетченков И.И., Яганов П.А., Любезнов А.Н. и др.* Особенности работы МДП-фототранзистора // Вестник Киевского политехнического института. Радиоэлектроника. – 1989. – Вып.26. – С.81-83.
2. *Ковтонюк Н.Ф., Сальников Е.Н.* Фоточувствительные МДП-приборы для преобразования изображений. – М.: Радио и связь, 1990.
3. *Білічук С.В.* Технологія одержання та фізичні властивості тонких плівок халькопіритних напівпровідників і прозорих оксидів металів для фотоперетворювачів: Автореферат дис. ... канд. фіз.-мат. наук. – Чернівці, 2005. – 20 с.
4. *Клетченков И.И., Яганов П.А., Левченко О.И., Иванчиков В.Ф.* Разработка способа получения и исследование станатных пленок повышенной электропроводности // Диэлектрики и полупроводники. – 1985. – Вып.27. – С.84-85.
5. *Саченко А.В., Снитко О.В.* Фотоэффекты в приповерхностных слоях полупроводников. – Киев: Наукова думка, 1984.
6. *Литовченко В.Г., Горбань А.П.* Основы физики микроэлектронных систем металл – диэлектрик – полупроводник. – Киев: Наукова думка, 1978.
7. *Осадчук В.С., Осадчук О.В., Прокопова М.О., Осинський С.В.* Дослідження газових напівпровідникових елементів на основі полікристалічних плівок окису // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2003. – №5. – С.108-113.