

УДК 621.382.323

Л.М. Смеркло*, В.В. Невзоров*, В.І. Беген*,
Т.В. Невзорова*, Л.В. Галкіна#

*Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

#Національний університет "Львівська політехніка", кафедра електронних засобів
інформаційно-комп'ютерних технологій

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ САПР ДЛЯ ПОТУЖНИХ МОН ПТ

© Смеркло Л.М., Невзоров В.В., Беген В.І., Невзорова Т.В., Галкіна Л.В., 2002

Розглянута структура та принципи побудови САПР для проектування потужних МОН ПТ. Розглянуті особливості МОН ПТ, які заважають прийняттю оптимальних конструкторсько-технологічних рішень. Показано, що САПР для потужних МОН ПТ повинна сприяти забезпеченню високих техніко-економічних показників транзисторів, які проектуються.

1. Вступ

Сьогодні постійно зростає попит на потужні МОН польові транзистори (МОН ПТ), які за швидкодією та іншими параметрами значно перевищують біполярні транзистори. Основні області використання потужних МОН ПТ – це обчислювальна техніка, джерела вторинного електроживлення, автомобільна електроніка, транспорт, системи керування роботою двигунів, засоби автоматизації виробництва, стартери люмінесцентних ламп, системи електрозв'язку, спецелектроніка. Для цього потрібні МОН транзистори з різними робочими напругами, струмами та швидкодією.

Але проектування МОН ПТ пов'язане зі значними труднощами, які зумовлені особливостями цього приладу. МОН ПТ характеризуються високими напругами, низьким опором у відкритому стані, великими струмами, комутованою потужністю та швидкодією, що визначає основні проблеми їх конструювання і виготовлення. Електричні параметри МОН ПТ мають протиріччя у засобах їх досягнення, що примушує шукати компроміси при проектуванні. Наприклад, для отримання низького опору у відкритому стані необхідно зменшувати питомий опір та збільшувати площу кристала, що тягне за собою зниження пробивної напруги, збільшення часу перемикання та суттєве зменшення виходу придатних. Перераховані особливості заважають прийняттю оптимальних конструкторсько-технологічних рішень та призводять до великих матеріальних, трудових та фінансових затрат.

Головною метою запропонованої САПР є забезпечення високих темпів розробок, техніко-економічних показників МОН ПТ, що розробляються, та підвищення якості проведення НДДКР.

2. Загальний підхід до проектування потужного МОН транзистора

Відомо багато конструкцій МОН ПТ, наприклад МОН ПТ з горизонтальним каналом та горизонтальним проходженням струму (ЛМОН), МОН ПТ з V- та U-подібними затворами та вертикальним проходженням струму (VMОН та УМОН), та транзистори з

подвійною дифузією, горизонтальним каналом та вертикальним проходженням струму, (ДМОН).

Зараз найбільше розповсюдження серед різноманітних конструкцій отримала конструкція ДМОН ПТ, оскільки вона дозволяє порівняно легко реалізувати високу пробивну напругу та низький опір у відкритому стані. Є різні конструкції ДМОН транзистора, але найбільше поширення, незважаючи на ускладнення технології, отримала самосумісна конструкція з полікремнієвим затвором та дворівневим розташуванням електродів. Структура такого ДМОН транзистора показана на рис. 1. Ця конструкція має багатокоміркову структуру, де кожна комірка є елементарним ДМОН ПТ, і всі комірки на кристалі з'єднані паралельно. Тому оптимальним для розрахунків був визнаний підхід, при якому розраховуються параметри однієї комірки, а за ними визначається кількість комірок, площа кристала та електричні характеристики всього транзистора.

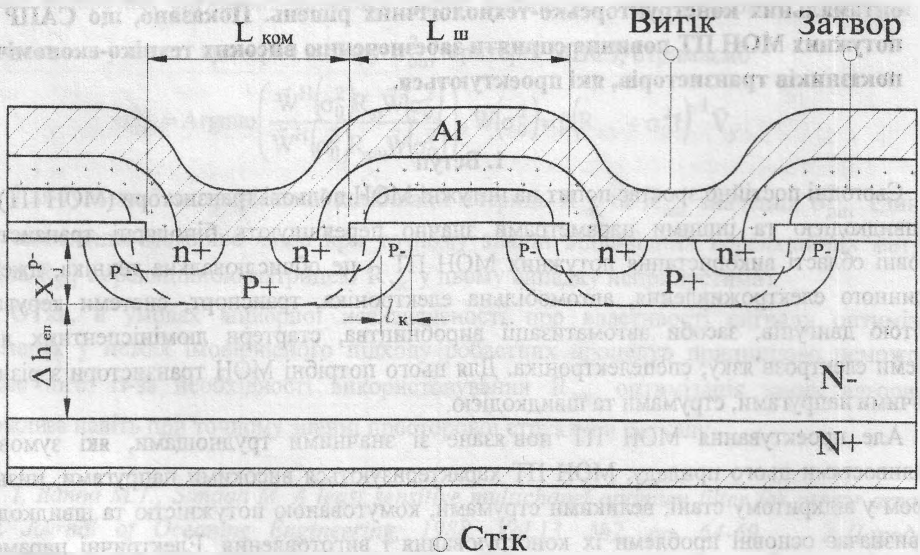


Рис. 1. Конструкція ДМОН транзистора

Для однорідного профілю легування епітаксійної p-n⁺ плівки та для різких p-n переходів, що притаманні ДМОН ПТ, електрофізичні параметри епітаксійної плівки можна визначити з таких виразів [4]:

$$N_d = 60^{1,33} \cdot \left(\frac{E_d}{1,1} \right) \cdot 10^{16} \cdot U_{c-n}^{-1,33} = 2,18 \cdot 10^{18} \cdot U_{c-n}^{-1,33};$$

$$\Delta h_{ep} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_{si} \cdot \varepsilon_0 \cdot U_{c-n}}{q \cdot N_d}} = 2,47 \cdot 10^{-6} \cdot N_d;$$

$$\rho_{n-} = \frac{1}{q \cdot \mu_n \cdot N_d},$$

де N_d – рівень легування епітаксійної плівки; Dh_{ep} – товщина об'ємного просторового заряду; r_n – питомий опір епітаксійної плівки; E_d , e , q , m – відповідні електрофізичні константи.

Повна товщина епітаксійної плівки h_{ep} буде дорівнювати:

$$h_{ep} = x_j^{p^-} + \Delta h_{ep}.$$

Електрофізичні параметри ДМОН структури можна визначити з таких виразів.

Товщина підзатворного SiO_2 звичайно лежить в межах 0,05 – 0,1 мкм визначається:

$$d_{SiO_2} = \frac{U_{3-в}^{max} - U_{пор}}{E_{проб}} = (1,66...5) \cdot 10^{-7} (U_{3-в}^{max} - U_{пор}),$$

де d_{SiO_2} – товщина підзатворного окислу; $E_{проб}$ – критична напруженість поля для SiO_2 ; $U_{3-в}^{max}$, $U_{пор}$ – електричні параметри МОН ПТ.

Концентрацію носіїв в каналі N_a , а також такі технологічні параметри, як поверхневий опір r шару $R_s^{p^-}$, та дозу іонної імплантації D_p можна знайти з виразу порогової напруги $U_{пор}$

$$U_{пор} = \frac{Q_{SiO_2} \cdot d_{SiO_2}}{\epsilon_{SiO_2} \cdot \epsilon_0} + \frac{2kT}{q} \cdot \ln \frac{N_a}{n_i} + \frac{2d_{SiO_2}}{\epsilon_{SiO_2} \cdot \epsilon_0} \cdot \sqrt{q \cdot N_a \cdot \epsilon_{Si} \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{kT}{q} \cdot \ln \frac{N_a}{n_i}} + \varphi_{мп},$$

де $U_{пор}$ – порогова напруга; Q_{SiO_2} – заряд в окислі; N_a – концентрація носіїв в каналі; e ; n_i ; $\frac{kT}{q}$; $\varphi_{мп}$ – електрофізичні константи.

Типова порогова напруга ДМОН ПТ звичайно лежить в межах 2 – 4 В.

Довжина каналу l_k повинна виключати вірогідність проколу при максимальній напрузі стоку. l_k та глибину r шару $X_j^{p^-}$ можна визначити з виразів:

$$l_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \epsilon_{Si} \cdot \epsilon_0 \cdot U_{c-в}}{q \cdot N_d}}; \quad X_j^{p^-} = (1,15...1,2) \cdot l_k.$$

Ширину каналу W_k визначаємо з виразу залежності струму стоку I_c від напруги на затворі, яка для ДМОН ПТ має квадратичний характер:

$$I_c = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{SiO_2} \cdot \mu_e \cdot W_k}{2 \cdot l_k} \cdot (U_{3-в}^{max} - U_{пор})^2.$$

В подальшому значення W_k та l_k використовуються для розрахунків $R_{c-в}$, необхідної кількості комірок на кристалі, моделювання вольт-амперної характеристики транзистора і т.д.

Опори каналу та дрейфової області стоку залежно від максимальної напруги $U_{c-в}$ розраховуються з врахуванням моделей [2] або [3], а оптимальні розміри комірки $L_{ком}$ та $L_{ш}$ з врахуванням методики, описаної в [1].

3. Загальна структура САПР

САПР дозволяє по трьох вихідних параметрах (максимальна напруга $U_{c-в}$, опір у відкритому стані $R_{c-в}$, та порогова напруга $U_{пор}$) розрахувати такі параметри спроектованого МОН ПТ, як передаточні характеристики; вихідні ВАХ; міжелектродні електричні ємності

Сз-с, Сз-в, Сс-в, Ск, Св; електрофізичні параметри вихідної підкладки; електрофізичні параметри МОН структури; електрофізичні параметри дифузійних шарів; визначити форму МОН комірки та оптимальний варіант їх розташування на кристалі; розробити ескізу та робочу КД а також керуючу інформацію (КІ) для виготовлення фотошаблонів; видати вихідні дані для розробки та виготовлення взірців.

Структура САПР для потужних ДМОН ПТ показана на рис.2 і складається з трьох підсистем, в яких автоматизовано розв'язання 11 типів задач. Підсистема 1 забезпечує моделювання та розрахунок електрофізичних параметрів МОН структури та моделювання топології кристала, підсистема 2 – проектування ескізної або робочої КД та КІ для виготовлення фотошаблонів, підсистема 3 – розрахунок технологічних параметрів.

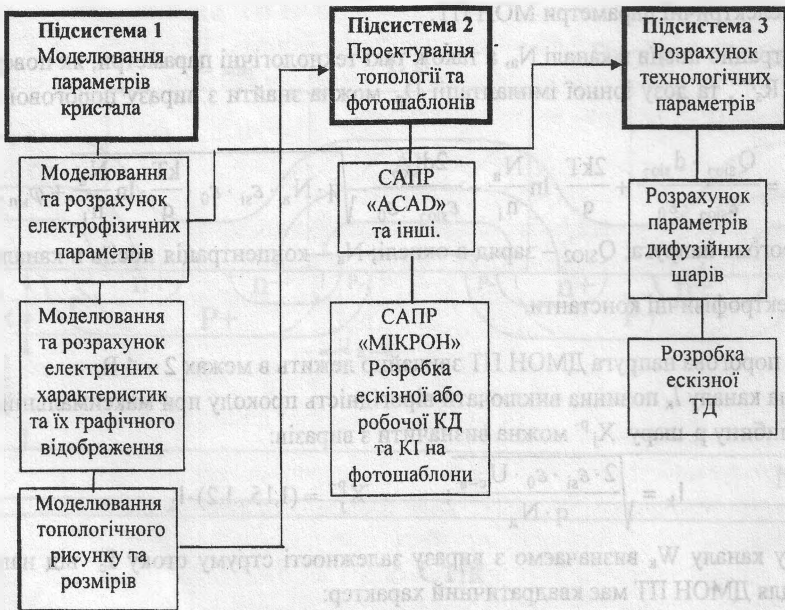


Рис. 2. Структура САПР потужних ДМОН ПТ

Підсистема 1. Основне призначення підсистеми 1 – це автоматизований розрахунок необхідних електрофізичних параметрів МОН структури, розрахунок електричних параметрів та моделювання ВАХ транзистора, а також розрахунок і моделювання оптимальної форми та електрофізичних параметрів однієї комірки. Розраховані електрофізичні параметри поступають в підсистему 3 для розрахунку технологічних режимів та використовуються для розрахунку електрофізичних та топологічних параметрів однієї комірки. На основі цих розрахунків підсистема 1 прораховує електричні параметри та моделює вольт-амперні характеристики транзистора. Результати розрахунків порівнюються з вихідними параметрами транзистора та в разі необхідності відбувається корекція топологічних параметрів. Розрахунок проводиться на основі моделі опору транзистора у відкритому стані [2], [3]. Результати моделювання порівнюються з технологічними обмеженнями існуючого техпроцесу (час безперервної роботи установки фотонабору,

розмір кристалу, роздільна здатність фотолітографії, розсуміщення та ін.), в результаті чого вибираються оптимальні топологічні параметри.

Підсистема 2. Призначення підсистеми 2 – розробка топології транзистора по результатах розрахунків підсистеми 1 та видача вихідних даних для формування ескізної або робочої конструкторської документації та підготовка КІ для виготовлення фотошаблонів. При цьому використовуються САПР "АВТОКАД" та "МІКРОН" [5].

Підсистема 3. Підсистема 3 призначена для розрахунків технологічних режимів проведення техпроцесів і видачі вихідних даних для формування ескізної технологічної документації. Розрахунок режимів дифузії та іонної імплантації проводиться на основі відповідних моделей, які детально описані в [4]

4. Висновок

Ефективність принципу побудови основних компонентів САПР для потужних МОН ПТ була перевірена при розробці ряду типоміналів потужних МОН ПТ з напругами від 100 до 1000 В, що дало змогу забезпечити високі техніко-економічні показники МОН ПТ, що розроблялись, і різко зменшити час розробки без повторної доробки конструкції.

1. Смеркло Л.М., Невзоров В.В., Кучмії Г.Л., *Конструктивно-технологічні особливості потужних ДМОН транзисторів / Міжн. наук.-тех. конф. «Сучасні проблеми автоматизованої розробки і виробництва радіоелектронних засобів, застосування засобів зв'язку та підготовки інженерних кадрів» (27.02 - 3.03, 1995 р), Львів, Україна, с.93.*
2. Sun S.C., Plummer J.D., *Modeling of the on-resistance of LDMOS, VDMOS and DMOS power transistors. IEEE Transactions on Electron Devices. - 1980. - v.ED-27. - N2. - p. 356-367.*
3. Hower P.L., Heng T.M.S., Huang C. *Optimum Design of Power MOSFET. International Electron Devices meeting, 1983, December 5-6-7, P. 87-90.*
4. Зу С. *Фізика напівпровідникових приборів: В 2 кн. / Пер. с англ. под ред. П.А. Суриса. - М.: Мир, 1984. - 455 с.*
5. Smerklo L., Behen V., Masiutin G., *"Micron" - computer aided design system for engineering technical documentation and photomasks of hybrid integrated modules. Proceedings of the VI-th International Conference CADSM 2001, Lviv - Slavsko, UKRAINE, p.255.*