

лінійок Голомба, а по-друге, значне зменшення кількості перебору варіантів для успішної роботи за проектом.

1. Дьодни А.К. Две незамысловатые программы демонстрируют гениальные способности в тестах на умственное развитие // В мире науки. 1986. №5. С.90-95.
2. Дьодни А.К. О линейках Коломба и их применение в радиоастрономии // В мире науки. 1986. №2. С.103-107.
3. Різник В.В. Синтез оптимальних комбінаторних систем. Львів, 1989.
4. Ризнык В.В., Ризнык О.Я. Комплекс алгоритмов и программ для синтеза комбинаторных моделей оптимальных систем // Контрольно-измерительная техника. Львов, 1991. Вып.48. С.16-18.
5. Ризнык О.Я. Комбинаторные модели для синтеза технических устройств и систем на основе числовых линейных сцепок // Контрольно-измерительная техника. Львов, 1989. Вып.45. С.23-25.
6. Холл М. Комбинаторный анализ. М., 1963.
7. [http://www.internet.ru/article/preview\\_lentanews/2000/02/15/1737.html](http://www.internet.ru/article/preview_lentanews/2000/02/15/1737.html)

УДК 621.382.002

## ПІДСИСТЕМА ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ПРОФІЛІВ РОЗПОДІЛУ ДОМІШОК В НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ

© П. Гранат, В. Теслюк

Національний університет "Львівська політехніка"

*Запропоновано підсистему для відображення профілів домішок в напівпровідникових інтегральних пристроях. Наведено основні алгоритми та розподіли домішок в біполярних, МОН та КМОП -пристроях.*

*The subsystem for reverberation of admixtures profiles in semiconductor integral devices is proposed. Basic algorithms and admixtures distributions in bipolar, MOS and CMOS devices are directed.*

Запропонована в даній роботі підсистема виводу графічної інформації [1,2] призначена для відображення на екрані монітора одно- та двовимірних графіків розподілу домішок у напівпровідникових структурах. Вона входить до системи технологічного моделювання ІС "ПроМІС-Т" [3].

Розпочинається робота підсистеми виводу графічної інформації після натискання піктограми у формі гістограми в основному меню піктограм системи "ПроМІС-Т" (чи

після запуску основного модуля підсистеми *graphics.exe*), або необхідно вибрати підменю "Графіки" з основного меню "Результати". На екрані монітора з'явиться основне меню підсистеми виводу графічної інформації (рис. 1). Воно містить рядок з інформацією про вибраний переріз і робоче поле, де відображається одно- чи двовимірний розподіл легуючої домішки у напівпровідникових областях.

Рядок меню містить такі назви: "Файл", "Графіки", "Настройки", "Windows" та "Допомога".

Меню "Файл" та "Допомога" мають стандартне призначення і містять стандартні підменю для *Windows* інтерфейсу.

Основні операції над графіками об'єднані в меню "Графіки". Користувач за допомогою встановлення опції "Показати складові" має змогу розкласти на всі складові результуючий профіль. Для прикладу, на рис. 2 наведено складові результуючого профілю перерізу "база-епітаксійний шар-прихована область" виробу K140УД6.

При встановленні опції "Розкласти на складові" відкриється декілька вікон з одним профілем в кожному. Кількість вікон дорівнює кількості складових профілів результуючого розподілу домішок у напівпровідниковому кристалі. Повернутися до результуючого профілю можна за допомогою вибору опції "Сумарний графік".

Меню "Настройки" містить два підменю: "Формування" та "Повороти 3D". Перше підменю дозволяє встановити масштаб для просторових та концентраційної координат, обмеження для осей та інше. Відповідне підменю наведено на рис.3. Друге

підменю "Повороти 3D" дозволяє користувачу повертати двовимірні (рис.4) розподіли домішок на задану кількість градусів, змінювати кількість вузлів у просторових сітках, замальовувати профілі різними кольорами та ін. Приклад діалогового вікна "Повороти 3D" наведено на рис.5.

Окрім того, дана підсистема дозволяє друкувати графіки розподілу легуючих домішок у напівпровідниковому кристалі та переглядати величини значень концентрації в розрахункових вузлах просторової сітки (рис. 6).

Для настройки підсистеми виводу одно- та двовимірних графіків призначе-

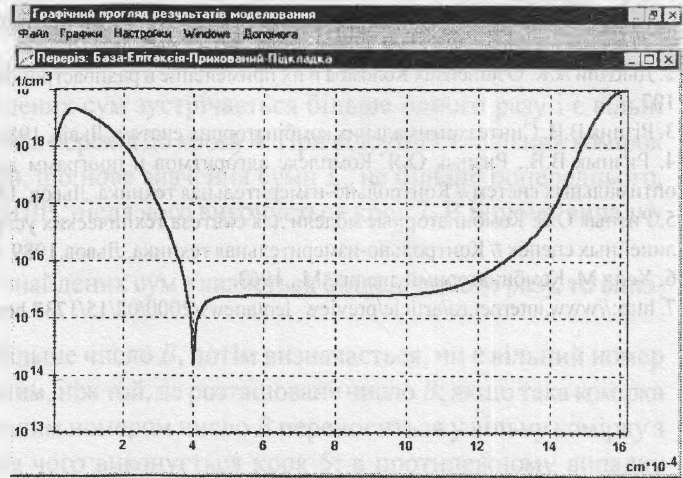


Рис.1. Основне меню підсистеми виводу графічної інформації

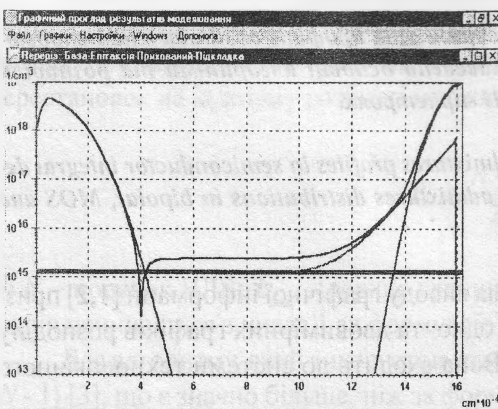


Рис.2 Складові результуючого профілю перерізу база-епітаксійний шар-прихована область

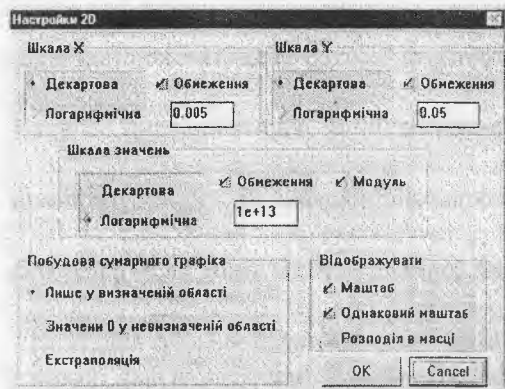


Рис.3 Діалогове вікно підменю "Формування"

1-Графіки виводити в однаковому масштабі

1-Залишити розподіл в масці (0-ні/1-так)

0-Використовувати сплайн (0-ні/1-так)

grf-Розширення файлів з графіками

result\

Для отримання гладких результуючих кривих в даній підсистемі для апроксимації проміжних вузлових значень використані сплайни [4].

За необхідності вищеописана підсистема може з успіхом використовуватися для відображення графічних результатів моделювання з інших областей науки та техніки. Для цього необхідно сформуваги вихідні файли та замінити розширення у файлі *config.cnf* на нове і вказати шлях до робочого файла чи групи файлів.

Всі вихідні дані системи "ПроМІС-Т" записуються в файли. Кожний файл має певну назву, і ці імена файлів залежать від коду перерізу і технологічного шару напівпровідникової структури, в області якої проводять розрахунок вихідних контрольованих параметрів. Так, кожний файл, у якому записано інформацію про концентраційні профілі розподілу легуючої домішки, має розширення *grf*. За необхідності відповідне розширення можна змінити заміною даного розширення в файлі настройки системи *promic.ini* у розділі *Graphics*. Імена файлів з концентраційними профілями складаються з двох чи трьох цифр.

Перша цифра даного імені визначає область перерізу напівпровідникової структури. Для прикладу, в одновимірному варіанті при моделюванні біполярних напівпровідникових структур використовують сім стандартних перерізів (рис.7):

1 - для розподілу домішок у розділювальній області (переріз "розділювальна область-епітаксійний шар-підкладка");

ний спеціальний файл з розширенням (*config.cnf*), де записано інформацію про розширення вихідних файлів, в якій директорії на диску вони розміщені, інформацію про вивід графіків у логарифмічній чи рівномірній шкалі та ін. Прикладом даного файла може бути:

#Graphics

0-Логарифмічна шкала по X (0-ні/1-так)

1-Логарифмічна шкала по Y (0-ні/1-так)

1-Вивід Y по модулю (0-ні/1-так)

1-Підсумовувати по всій шкалі X (0-ні/1-так)

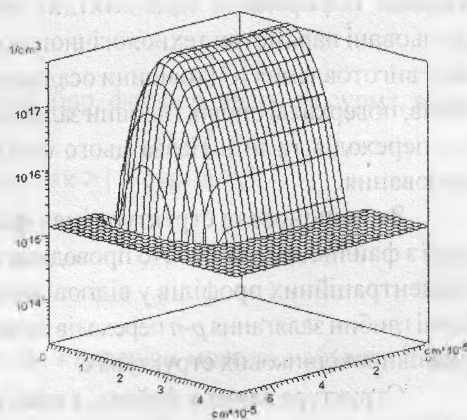


Рис.4 Розподіл фосфору в "п-кишені" КМОН-приладу (P++)

- 2 - для файлів з розподілом домішок у структурі "підкладка-епітаксійний шар";
- 3 - для файлів з розподілом домішок у структурі "емітер-база-епітаксійний шар-прихована область-підкладка";
- 4 - розподіл домішок у структурі "база-епітаксійний шар-прихована область-підкладка";
- 5 - для розподілу домішок у структурі "підкладка-прихована область-епітаксійний шар";
- 6 - розподіл домішок у структурі "глибокий колектор-епітаксійний шар-прихована область-підкладка";
- 7 - розподіл домішок у структурі "глибокий колектор-епітаксійний шар-підкладка".

Друга цифра імені концентраційного профілю визначає технологічний шар, до якого належить розподіл легуючої домішки, а коди технологічних шарів описані вище.

Якщо до деякого технологічного шару належать декілька профілів легуючої домішки, то додається ще третя цифра, яка визначає номер профілю, що належить до одного технологічного шару. Для прикладу, у файлі з іменем *432.grf* розміщений профіль, який належить до перерізу біполярної структури "база-епітаксійний шар-прихована область-підкладка", домішка розміщена в епітаксійному шарі і по рахунку цей профіль є другим, що належить до даного шару.

Окрім того, вихідні результати записані ще у файлі *texnol\_b.res*, де розміщена інформація про вихідні контрольовані параметри технологічного процесу виготовлення ІС (товщини осаджених шарів, поверхневі опори, глибини залягання *p-n* переходів та ін.). Назва цього файла є незмінною в процесі технологічного моделювання.

Запропонована структура імен файлів дозволяє, не читаючи внутрішньої інформації з файлів, досить просто проводити операції підсумовування та віднімання значень концентраційних профілів у відповідних вузлах, що необхідно виконувати при обчисленні глибин залягання *p-n* переходів та визначення сумарних профілів розподілу домішок у напівпровідникових структурах.

Структура даних у файлах, в яких розміщена інформація про концентраційні профілі, є такою:

- код технологічного шару;
- код перерізу;
- кількість значень у масиві координат та концентрацій;
- код домішки;
- інформація про наявність окислу кремнію на поверхні напівпровідникової структури;
- кількість вузлових значень координати, які розміщені в окислі кремнію;

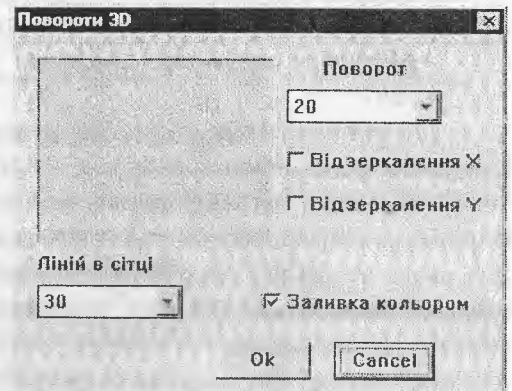


Рис.5 Диалогове вікно підменю "Повороти 3D"

Calculated Value		
Section: Buried-Substrate		
Layer: Buried		Dopand: Boron (B)
		Type: p
Calculated Points: 47		
N=	Deep [cm]	Concentration [1/cm3]
1	0.000000E+00	2.237066E+19
2	2.118400E-05	2.127595E+19
3	4.236800E-05	1.989209E+19
4	6.355200E-05	1.684367E+19
5	8.473600E-05	1.223878E+19
6	1.059200E-04	7.196287E+18
7	1.271040E-04	3.271374E+18
8	1.482880E-04	1.178215E+18
9	1.694720E-04	3.612942E+17
10	1.906560E-04	9.988585E+16
11	2.118400E-04	2.565887E+16
12	2.330240E-04	6.219132E+15
13	2.542080E-04	1.435471E+15
14	2.753920E-04	3.176070E+14
15	2.965760E-04	6.771017E+13

Рис. 6. Величини значень концентрації в розрахункових вузлах просторової сітки

• значення координат та концентрацій.

Використаємо для опису даної структури нормальну форму Бекуса [5]:

< зміст вихідного концентраційного файлу >::= { <опис структур даних у файлі > };

< опис структур даних у файлі >::= < код ТШ >;

< назва перерізу >;

< кількість значень у масиві координат та концентрацій n >;

< код домішки >;

< код наявності окислу >;

< кількість вузлових значень в окислі >;

< n значень координат та концентрацій

>.

Для кожного шару відповідає певний код:

< підкладка >::= 1;

< прихований шар >::= 2;

< розділювальний шар >::= 3;

< шар глибокого колектора >::= 4;

< базовий шар >::= 5;

< еміттерний шар >::= 6;

< епітаксійний шар >::= 7.

Символ "домішка" може набувати значення: бор, фосфор, арсен та сурма, яким відповідає певний код. Тому:

<домішка>::= < бор > | < фосфор > | < мишень > | < сурма >;

< бор >::= 2;

< фосфор >::= 1;

< арсен >::= 3;

< сурма >::= 4.

Під назву перерізу відводиться 80 символів, і перерізи можуть набувати таких значень:

< код перерізу >::= < розділювальна область-епітаксійний шар-підкладка > | < епітаксійний шар-підкладка > | < емітер-база-епітаксійний шар-прихована область-підкладка > | < база-епітаксійний шар-прихована область-підкладка > | < підкладка-прихована область-епітаксійний шар > | < глибокий колектор-епітаксійний шар-прихована область-підкладка > | < глибокий колектор-епітаксійний шар-підкладка >.

Коди перерізів:

< розділювальна область-епітаксійний шар-підкладка >::= 1;

< епітаксійний шар-підкладка >::= 2;

< емітер-база-епітаксійний шар-прихована область-підкладка >::= 3;

- < база-епітаксійний шар-прихована область-підкладка > ::= 4;
- < підкладка-прихована область-епітаксійний шар > ::= 5;
- < глибокий колектор-епітаксійний шар-прихована область-підкладка > ::= 6;
- < глибокий колектор-епітаксійний шар-підкладка > ::= 7.

Для оцінки кількості значень у масивах призначений такий параметр:

- < кількість значень у масиві координат та концентрацій > ::= < число >;
- < число > ::= < число > | < цифра > | < цифра >;
- < цифра > ::= 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9.

Наступні параметри надають всю необхідну інформацію для програми обробки вихідних результатів про окисел кремнію:

- < код наявності окислу > ::= < окисел відсутній > | < окисел присутній >.
- < окисел відсутній > ::= 0;
- < окисел присутній > ::= 1.
- < кількість вузлових значень в окислі > ::= < число >.

Далі в файлі розміщені значення координат та концентрацій:

$n$  < значення координат та концентрацій > ::=  $2n$  < число >.

Розроблена підсистема дозволяє технологам, інженерам та проектувальникам в зручній формі отримати вихідні дані про концентраційні профілі в напівпровідниковій структурі, дозволяє переглядати числові значення концентрації домішок та формувати результуючі профілі.

Дана підсистема реалізована як окремий автономний модуль, а структура вхідних файлів детально описана в даній роботі, тому вона може з успіхом використовуватися для відображення вихідних графічних результатів в складі іншої системи та автономно.

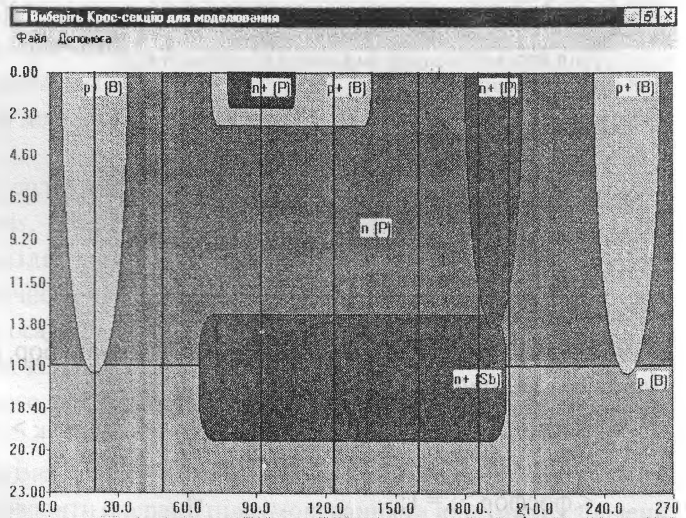


Рис. 7. Структура біполярного виробу з можливими перерізами для моделювання

1. В. Е. Михайленко, В.Н.Кислоокий, А.А.Ляшенко и др. Геометрическое моделирование и графика в САПР. К., 1991.
2. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.7. Графические системы САПР: Практик. пособие / Под ред. А.В.Петрова. М., 1990.
3. Коваль В.А., Гранат П.П., Теслюк В.Н. Автоматизированная система технологического проектирования полупроводниковых ИС. // В сб. Техника. экономика. Сер. Автоматизация проектирования. вып. 2-3. М., 1994.
4. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций. М., 1980.
5. Разработка САПР. В 10 кн. Кн.3. Проектирование программного обеспечения САПР: Практик. пособие / Под ред. А.В.Петрова. М., 1990.