

1. Аваев Н.А., Наумов Ю.Е. Элементы сверхбольших интегральных схем. – М., 1986.
 2. Соболев И.М. Метод Монте-Карло. – М., 1985. 3. Полляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. – М., 1971. 4. Черненко В.М. Разработка САПР / Под ред. А.В.Петрова. – М., 1990.

УДК 658.512.2

В. Теслюк, П. Гранат, О. Корбецький
 Національний університет "Львівська політехніка",
 кафедра систем автоматизованого проектування

ПІДСИСТЕМА ПОБУДОВИ РЕЛЬЄФУ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ПОВЕРХНІ ІНТЕГРАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

© Теслюк В., Гранат П., Корбецький О., 2001

Запропоновано підсистему побудови рельєфу напівпровідникової структури, яка дозволяє підвищити точність моделювання вихідних характеристик ІС.

ВСТУП

У процесі виготовлення інтегральних схем (ІС) кремнієві пластини постійно взаємодіють з технологічним середовищем, що викликає еволюцію приповерхневої області напівпровідникової пластини. Під час термічної обробки до пластини потрапляють небажані домішки (продукти побічних процесів). Ці ефекти усуваються різними методами гетерування. Позитивним явищем напівпровідникової технології є зміна рельєфу кристала, що дозволяє стравлювати верхній, найзабрудненіший шар кремнію. Стравлення кремнію відбувається під час операцій термічного окислення, травлення та іонної імплантації (завдяки розпиленню поверхні напівпровідникової області). Однак таке травлення проходить не рівномірно по всій поверхні напівпровідникової пластини. Це пов'язано з рівнем легування напівпровідникових областей, наявністю початкового окислу, орієнтації пластини та ін. Тому кінцева поверхня напівпровідникової структури має ступінчасту форму.

Зміна рельєфу поверхні впливає на точність розрахунку вихідних характеристик ІС, зокрема поверхневого опору та глибини залягання p - n переходу. До того ж, виходячи з неправильного визначення координат p - n переходів (емітер-база та база-епітаксійний шар), неточно визначається товщина активної області біполярної бази. У системі «ПроМІС» побудована математична модель зміни рельєфу напівпровідникової структури під час технологічного процесу виготовлення ІС.

Формалізація задачі

Основне припущення цієї моделі полягає в тому, що поверхня в будь-якій області напівпровідникової кремнієвої структури змінюється при чотирьох основних групах технологічних операцій, а саме:

- окислення кремнію;
- травлення кремнію;
- розпилення кремнію в процесі іонної імплантації;
- осадження напівпровідникових матеріалів.

Зміна рельєфу будь-якої області інтегрального приладу визначається виразом:

$$H_{Si} = \sum_i^i d_{oc_i} + d_{eni} - \sum_{i=0}^n d_{ox_i} - \sum_{j=0}^m d_{Tp_j} - \sum_{l=0}^k d_{im_l},$$

де d_{eni} – товщина осадженого шару кремнію при епітаксійному нарощуванні; d_{oc_i} – товщина напівпровідникового матеріалу для i -го осадження; d_{ox_i} – товщина витрат кремнію при i -му окисненні; d_{mp_j} – товщина витрат кремнію при j -му травленні; d_{im_l} – товщина витрат кремнію при l -ій іонній імплантації.

Витрати кремнію при термічному окисненні розраховуються за допомогою такого виразу:

$$d_{ox} = \alpha H_{ox},$$

де $\alpha = 0.44$, а визначається за моделлю термічного окислення кремнію Діла-Гроува [1,2].

До другої групи технологічних операцій належать хімічне, іонне та плазмо-реактивне травлення. Врахування стравленого кремнію d_{Tp} проводиться так:

$$d_{Tp} = t_{Tp} \times V_{Tp},$$

де t_{Tp} – час травлення; V_{Tp} – швидкість травлення, яка залежить від середовища, температури і т.д. [3,4].

Розпиленням напівпровідникової підкладки при проведенні іонної імплантації можна знехтувати, але його необхідно враховувати при іонній імплантації з високою дозою та низькою енергією, що використовується при створенні напівпровідникових структур з малими глибинами залягання p - n -переходів. Товщину розпиленого шару кремнію можна визначити із співвідношення [5]:

$$d_{im} = (S/N) \cdot C_0,$$

де C_0 – доза іонно-імплантованої домішки; N – густина атомів (см^3 для кремнію); S – коефіцієнт розпилення (КР).

А коефіцієнт розпилення визначається за формулою [6]:

$$S = \frac{3}{4} \cdot \frac{S_n(E) \cdot \tilde{\alpha} \cdot (M_2/M_1)}{\gamma \cdot C \cdot V_0},$$

де C – постійна; $S(E)$ – ядерна тормозна здатність [6]; γ – функція, яка визначається чисельно [6]; $\tilde{\alpha}$ – поверхнева енергія зв'язку (= 7,8 еВ для кремнію).

Для більш точного обчислення значення коефіцієнта розпилення можна використати метод Монте-Карло, який передбачає обчислення за допомогою виразу [7]:

$$S = n_a/n_i,$$

де n_a – число вибитих (розпиленних) атомів матеріалу підкладки; n_i – сумарна кількість іонів, які бомбардують мішень.

Модель з використанням методу Монте-Карло дає змогу вираховувати КР для будь-якої суміші, хоча при цьому потребує значних затрат машинного ресурсу.

Для визначення товщини осадженого напівпровідникового матеріалу використовують вираз:

$$d_{oc} = t_{oc} \cdot V_{oc},$$

де t_{oc} – час осадження, а V_{oc} – швидкість осадження [8,9].

Реалізація підсистеми

Для відображення результатів моделювання зміни рельєфу в процесі виготовлення ІС була розроблена підсистема виведення рельєфу поверхні напівпровідникової структури, основне меню якої наведено на рис. 1.

Меню «Файл» призначене для виконання операцій над файлами та виходу з підсистеми. Меню «Масштаб» містить три підменю: «Оптимальний», «Поверхня» та «Повний чіп». Підменю «Оптимальний» виводить на екран монітора товщину стравленого кремнію кожної легованої напівпровідникової області та їх розмір (рис. 1). Підменю «Поверхня» дозволяє вивести на екран рельєф поверхні інтегрального виробу в збільшеному масштабі, а підменю «Повний чіп» – в реальних розмірах інтегрального виробу.

Меню «Відобразити» містить три опції. Перша опція називається «Домішка» і при її включенні на загальний рисунок напівпровідникової структури виводиться інформація про тип домішки (n – електронний тип провідності, p – дірковий тип провідності), за допомогою якої сформована дана інтегральна область, а в дужках подається інформація про саму назву домішки (Р – фосфор, В – бор, As – арсен, Sb – сурма). Опція «Стравлення поверхні» забезпечує виведення інформації про числове значення стравленого кремнію кожної напівпровідникової області, а опція «Розміри шарів» – числове значення розміру кожної області (для одновимірному випадку).

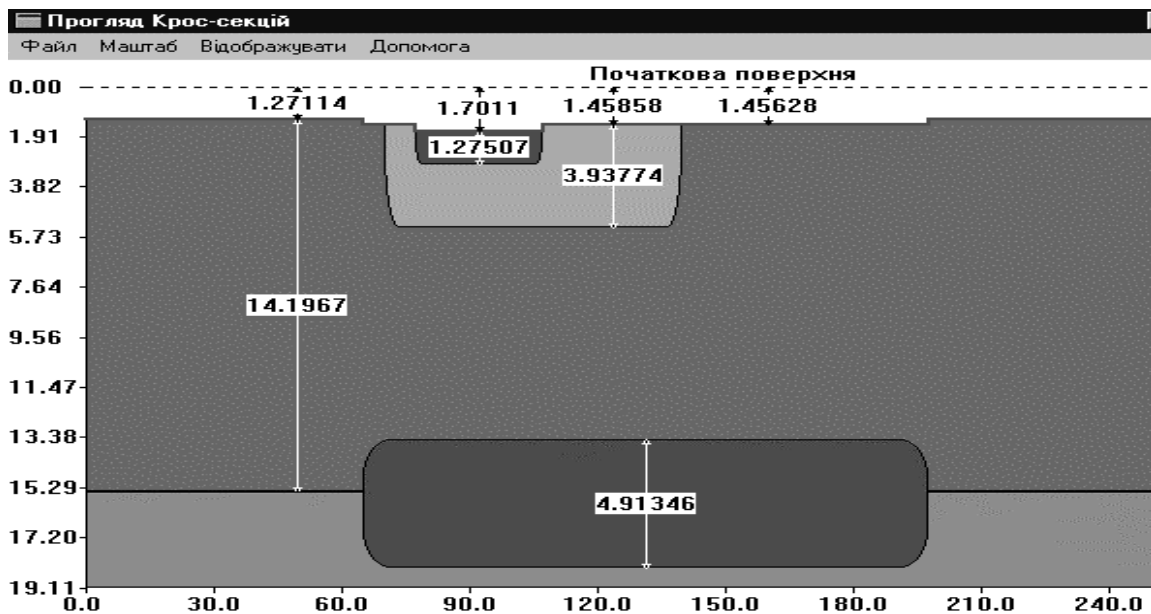


Рис. 1. Основне меню підсистеми виведення рельєфу поверхні напівпровідникової структури (K1021XA8)

Меню «Допомога» дозволяє отримати інформацію про дану підсистему та особливості її використання.

Результати

На рис. 2 наведено рельєф поверхні виробу K1021XA8 в області розділювального шару, а на рис. 3 – в області глибокого колектора. З отриманих результатів випливає, що найбільше кремнію стравлюється при біполярній технології виготовлення інтегральних приладів в області емітера. Пояснити дані результати можна після детального ознайомлення з технологічним маршрутом виготовлення цих структур. Оскільки емітерну область формують останньою і в ній концентрація легуючої домішки має найбільше значення (із збільшен

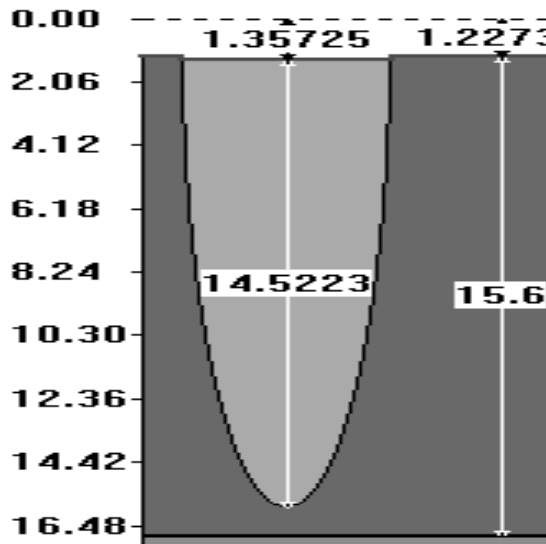


Рис. 2. Рельєф поверхні виробу K1021XA8 в області розділювального шару

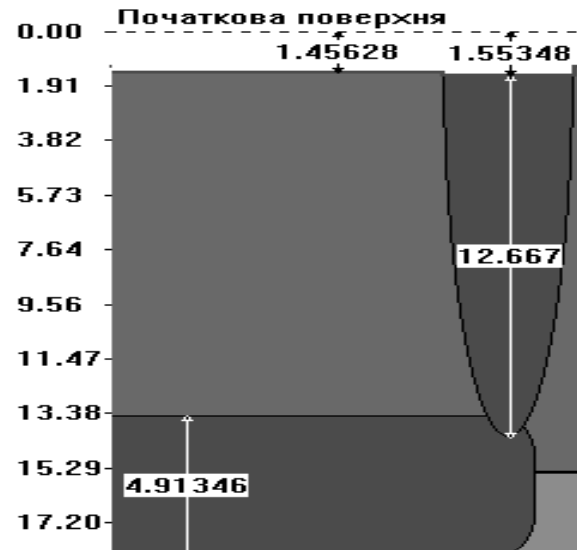


Рис. 3. Рельєф поверхні виробу K1021XA8 в області глибокого колектора

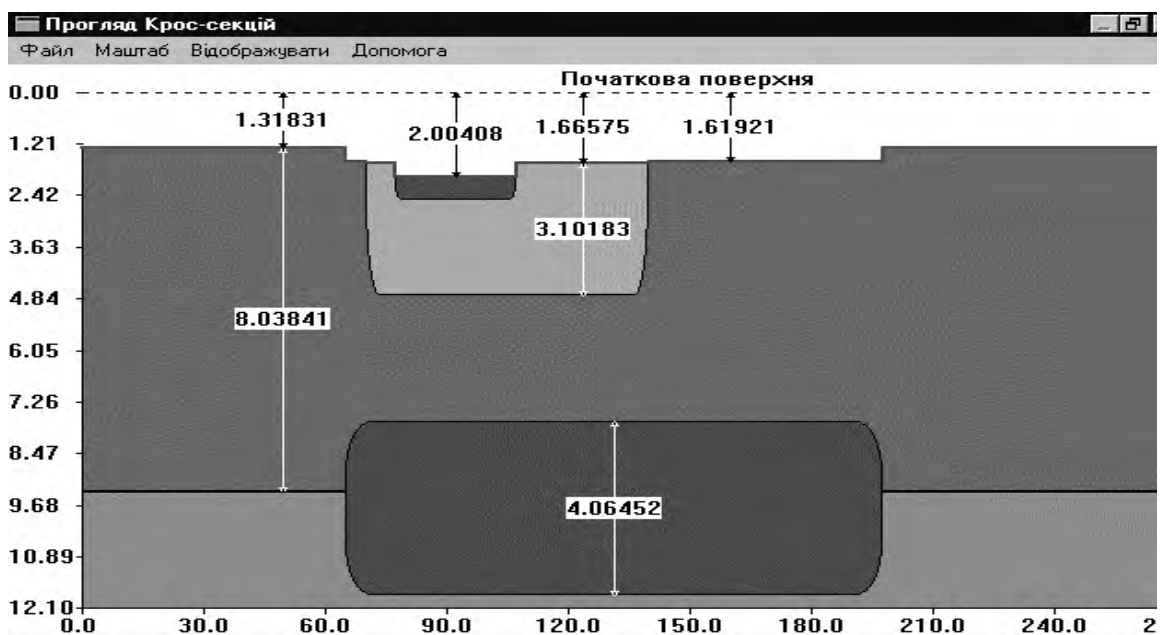


Рис. 4. Рельєф поверхні напівпровідникового виробу L1488

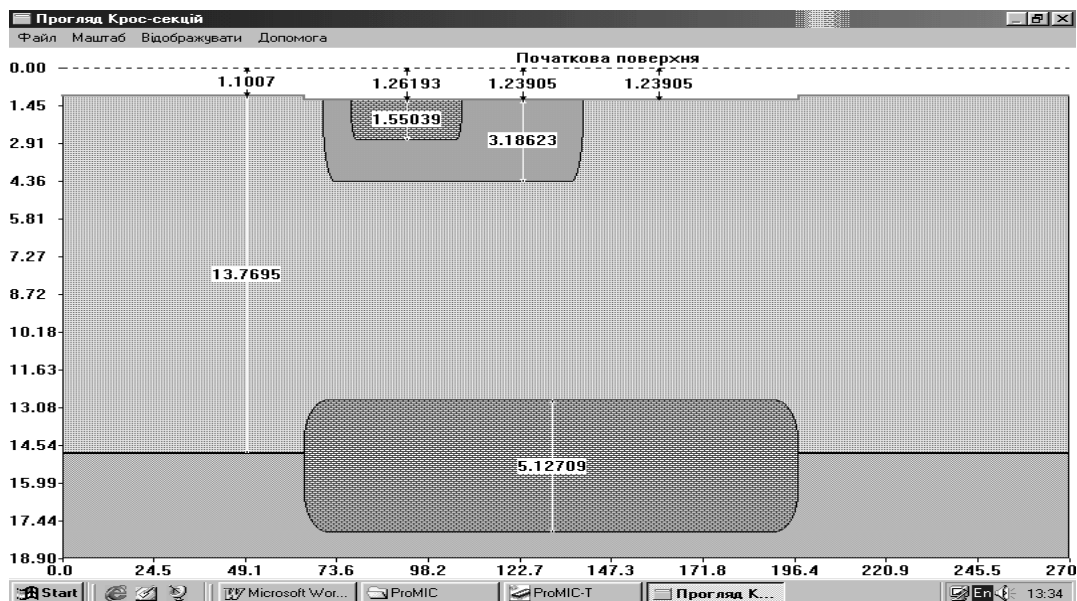


Рис. 5. Характеристики рельєфу напівпровідникової структури виробу K1021XA5

ням концентрації домішки швидкість окислення кремнію значно зростає), то, відповідно, кремнію в даній області буде витравлено більше, ніж в інших напівпровідникових областях. Аналогічна картина спостерігається і при виготовленні виробу L1488 (рис. 4).

1. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. – М., 1989. 2. Бубенников А.Н., Садовников А.Д. Физико-технологическое проектирование биполярных элементов кремниевых БИС. – М., 1991. 3. Antoniadis D.A., Rodoni M., Dutton R.W. Impurity Redistribution in SiO₂-Si during Oxidation: A Numerical Solution Including Interfacial Fluxes. *J. of the Electr. soc.*, v.126. N 11. P.1939- 1945. 4. Blanc J. A Revised Model for the Oxidation of Si by Oxygen. *Appl. Phys. Lett.*, 1978. V.33. N 5. P.424. 5. Коваль В.О., Гранат П.П., Теслюк В.М. Методика моделювання технологічних процесів виробництва ІС. – В кн.: Досвід розробки і застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці. – Львів, 1993. 6. Броудай И., Мерей ДЖ. Физические основы микротехнологии. – М., 1985. 7. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Ионное травление микроструктур. – М., 1979. 8. Зи С. Технология СБИС. – М., 1984. 9. Там само.

УДК 658

P. Kosoboutski, M. Lobur
Lviv Polytechnic National University

METHOD OF PARAMETER CONTROL OF DIELECTRIC LAYER PHASE THICKNESS ON SI CRYSTAL SURFACE

© Kosoboutski P., Lobur M., 2001

Conditions for the formation of light wave reflection amplitude spectra minima by the three-layer system of interfaces of the type: vacuum – oxide plane-parallel layer (resonator) – bulk crystal in the phonon region are investigated.