

КОНТРОЛЬ КОНЦЕНТРАЦІЙ ДОМІШОК В ШАРАХ Si, СТВОРЮВАНИХ В ПРОЦЕСІ ТЕРМОМІГРАЦІЇ Al

К. т. н. В. В. Кравчина¹, О. С. Полухін²

¹Миколаївський політехнічний фаховий коледж, м. Миколаїв;

²ТОВ «Елемент-Перетворювач», м. Запоріжжя

Україна

kravchina_vv@ukr.net

Наведено результати контролю методами рентгенівського мікроаналізу за допомогою електронного автоемісійного мікроскопа SUPRA 40WDS концентрацій домішок в структурах напівпровідникових силових приладів, де леговані шари Si створювали в процесі термоміграції Al. Також представлено результати дослідження геометрії профілю та концентрацій каналів p^+ -Si із введеними забруднювальними домішками вуглецю та кисню.

Ключові слова: алюміній, кремній, концентрація, рідка зона, температура, термоміграція.

Нові технологічні процеси, особливості застосування процесів термоміграції (ТМ) досить детально розглядаються в роботах [1, 2]. Але при розробленні структур приладів важливо контролювати концентрацію домішок. Ціллю цієї роботи є дослідження розподілу домішок та їх концентрацій в структурах Si, створюваних як в процесі термоміграції Al, розглянутих раніше [1], так і в нових, зокрема із введеними домішками С та O₂.

В роботі було використано технологічні маршрути, описані у [1, 2]. Вихідні пластини кремнію електронного типу провідності діаметром 76 мм з питомим опором 10 — 100 Ом·см спочатку шліфували до товщини 270 — 340 мкм. Надалі для створення напівпровідникових структур приладів за стандартним процесом на протилежних сторонах пластин проводилася дифузія Al + В та Р. Глибина плоского p - n -переходу складала 60 — 70 мкм. Перший етап формування лінійних зон — високотемпературне вибіркове змочування, проводився за температури $T_{\phi} = 770 \pm 5^{\circ}\text{C}$ [1, 2]. Досліджувалися режими з різною температурною дозою D , яка визначається температурою T та часом обробки t в розплаві: $D = Tt$. Другий етап ТМ, занурення зон і власне міграція, проводився за температури 1240°C. Контроль структур проводився як візуально, так і за допомогою оптичного мікроскопа Neofot. Для виготовлення досліджуваних зразків кристалів приладів використовувалися процеси локального рідинного травлення пластин кремнію в області поверхні зон ТМ за стандартною технологією, описаною в [1]. Для цього після проведення ТМ і формування зон на пластинах (111) виконувалося двостороннє травлення канавок із застосуванням методів фотолітографії в стандартному травнику СР (HF:HNO₃:CH₃COOH = 1,0:4:0,5) протягом 12 хвилин. Концентрація домішок та форма канавок після травлення шарів відокремлювальних областей структур досліджувалися на електронному автоемісійному мікроскопі SUPRA 40WDS. Фотографії мікрорельєфу поверхонь травлення виконувались в режимі відбитих електронів. Концентрації домішок визначались методами рентгенівського мікроаналізу. Для проведення мікроаналізу елементного складу на поверхні перерізу шарів ТМ структур формувалися сколи пластин. Результати аналізу наведено в таблиці.

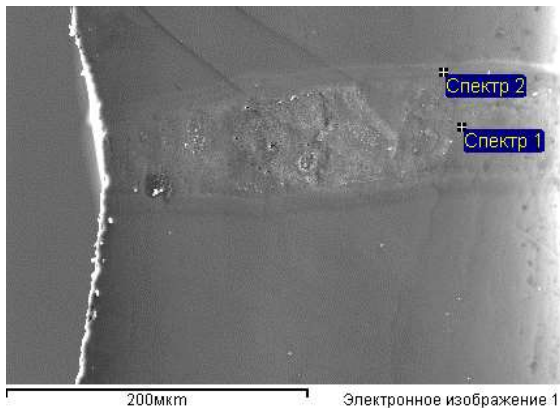
Результати мікроаналізу концентрації Al

Місце аналізу	Al, ваг. %	Si, ваг. %	Al, ат/см ³
Спектр 1	0,02	99,98	$1 \cdot 10^{19}$
Спектр 2	0,00	100	—
Спектр 3	0,08	99,92	$4 \cdot 10^{19}$

Точки аналізу спектру в області каналу ТМ позначено «Спектр 1» та «Спектр 3», і ці результати відповідають зразкам структур, на яких час витримки в розплаві був підвищеним відносно оптималь-

ного часу. Концентрація алюмінію складала $(1,0...2,5) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, при цьому вона зменшувалася від стартової сторони до фінішної. Точка «Спектр 2» розміщується поза областю каналу ТМ. При формуванні структур для напівпровідникових приладів з оптимальними часом витримки в каналі ТМ концентрація алюмінію складала $(5... 10) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, але контроль концентрацій із множителем зі степе-
нем 10^{18} є ускладненим і потребує спеціальної методики.

Крім контролю концентрації домішки легування є також цікавим дослідження структур та кон-
центрацій із домішками навмисно введених забруднень, таких як вуглець та кисень. Для створення
таких структур використовувалися процеси ТМ із вакуумними плівками Al [2]. На поверхні плівок Al
локально залишали плівку фоторезисту, яка є джерелом забруднювальних домішок. У цьому випадку



Зображення поверхні перерізу структури після
ТМ та відпалу:

- «Спектр 1» — шар кремнію p^+ -Si(Al+C);
- «Спектр 2» — шар кремнію в області n -Si на
межі каналу p^+ -Si(Al+C)

спостерігалось утворення двох шарів кремнію. Така
двошарова структура в області ТМ показана на фо-
тографії. Один шар — це кремній каналу p^+ -Si(Al+C)
в області термоміграції з аномально високою концен-
трацією атомів вуглецю — 0,33 ваг. %. На межі поза
каналом по периметру, як це видно на фотографії,
спостерігається утворення іншого шару з аномально
високою концентрацією атомів вуглецю (0,34 ваг. %) та
кисню (0,2 ваг. %). Отримані результати концент-
рацій вуглецю та кисню є аномально високими і по-
требують подальшого вивчення та перевірки. Ши-
рина такого шару складає близько 7,5 мкм. Велика
концентрація домішок вуглецю та кисню спричинює
зміну структури поверхні p^+ -Si в області каналу, а
саме утворення преципітатів, кластерів точкових
дефектів, та появу контрасту шарів n -Si на межі ка-
налу (див. фото). З результатів аналізу видно, що від
кисню зона очищується, а від вуглецю ні. Відсут-

ність в мікрорельєфі травлення горбків на межі каналу в таких структурах можна пояснити як прове-
денням процесів відпалу, так і утворенням домішками С локальних напруг розтягу, які збільшують
швидкість травлення [1].

Такі дослідження ТМ каналу з критично високою концентрацією атомів вуглецю та кисню до-
зволяють візуалізувати шар p^+ -Si ТМ каналу із вказаними домішками, який спочатку розширюється
досягаючи максимальної ширини, яка потім незначно зменшується на фінішній частині каналу.

Таким чином, проведені дослідження показали, що при формуванні структур напівпровіднико-
вих приладів за оптимальною технологією концентрація Al в каналі ТМ складала $(5... 10) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$,
а для структур, для яких час витримки в розплаві був підвищеним, концентрація алюмінію складала
 $(1,0...2,5) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Кравчина В.В., Полухін О.С. Використання термоміграції в технології силових напівпровідникових
приладів. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*, 2018, № 3, с. 16–24.
2. Полухін О.С., Кравчина В.В. Термоміграція довільно орієнтованих рідких лінійних зон Al–Si крізь
пластини кремнію (110). *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2021, №5–6, с. 33–40.
<https://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2021.5-6.33>

V. V. Kravchina, O. S. Polukhin

Control of impurity concentrations in Si layers produced by Al thermomigration.

The paper presents the results of X-ray microanalysis by the SUPRA 40WDS electron emission microscope of the impurities concentration in the structures of silicon power devices, where the doped Si layers were created by Al thermomigration. The authors also study the geometry of the profile and the concentration of p^+ -Si channels with carbon and oxygen pollution.

Key words: aluminum, silicon, concentration, liquid zone, temperature, thermomigration.