

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Факультет Електроніки
Кафедра мікроелектроніки

ЗВІТ

Про виконання практичної роботи №3
з дисципліни: «Технологічні основи електроніки»

*Легування напівпровідникових структур
методом високотемпературної дифузії*

Виконав:
Студент 3-го курсу

(підпис) Кузьмінський О.Р.

Перевірив:

(підпис) Мачулянський О.В.

1. Мета роботи

Вивчити та дослідити (обчислювальний експеримент) технологічний процес легування напівпровідникових структур методом одностадійної високотемпературної дифузії.

2. Завдання

Визначити технологічні параметри (T_1 – температура загонки; t_1 – час технологічної операції загонки домішки) технологічного процесу формування легуючого шару глибиною x_1 , з концентрацією легуючої домішки N_1 (на рівні x_1) в напівпровідниковій пластині (Si) методом одностадійного процесу високотемпературної дифузії.

3. Порядок роботи

- 1) Задати значення $T_1(^{\circ}C)$ одностадійного технологічного процесу високотемпературної дифузії (загонки).
- 2) Обґрунтувати вибір значення температури загонки.
- 3) Визначити значення коефіцієнту дифузії D_1 (загонки) для заданого виду домішки в напівпровідникову пластину (Si) при T_1 (пункт 1).
- 4) Визначити значення температурного впливу $D_1 t_1$ для даної технологічної операції.
- 5) Визначити час технологічної операції загонки домішки – t_1 .
- 6) Побудувати профіль розподілу домішок за визначеним значенням t_1 ($N(x, t_1) = f(x)$).
- 7) Визначити значення дози легування Q.

4.Вхідні дані

- тип підкладки напівпровідника – кремній КДБ.
- глибина залягання р-n переходу – $x_1 = 0,8$ мкм.
- концентрації домішки на рівні переходу $N_1 = 5,2 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$
- вид домішки – арсен (As).

4.Алгоритм роботи

Розв'язавши рівняння другого закону Фіка, розподіл концентрації домішок $N(x,t)$ визначається за формулою:

$$N(x,t) = N_s \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{X}{2\sqrt{D \cdot t}} \right), \quad (1)$$

де: $\operatorname{erfc}V = 1 - \operatorname{erf}V$ -доповнення функції помилок $\operatorname{erf}V$ до одиниці,
 X -глибина залягання пн-переходу,
 N_s -поверхнева концентрації при загонці,
 D, t -коефіцієнт дифузії та час загонки відповідно.

Визначимо температуру, поверхневу кон-цію при загонці, скориставшись наступним рисунком:

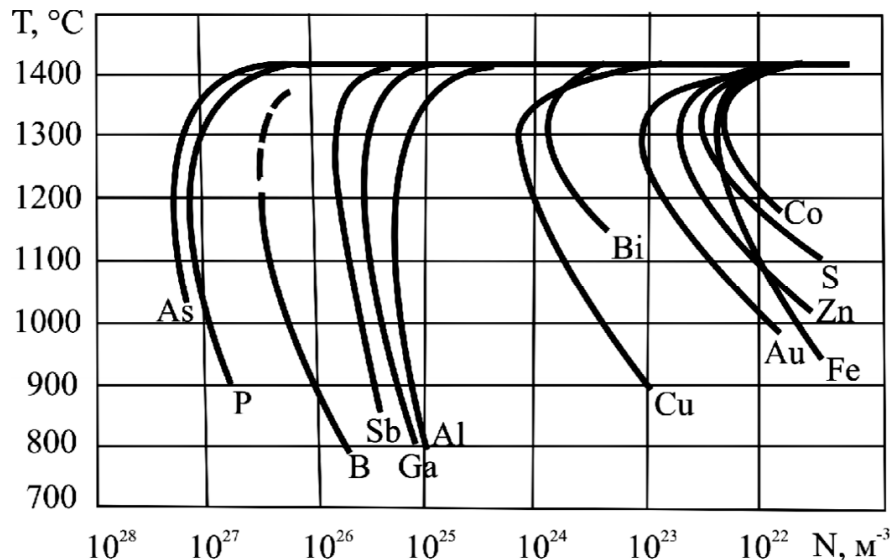


Рис.1. Залежність граничної розчинності домішки у кремнії від температури.

Поверхнева концентрація майже рівна граничній розчинності. З графіку оберемо температуру загонки $T_1(^{\circ}\text{C}) = 1350^{\circ}\text{C}$, якій відповідатиме гранична розчинність (поверхнева концентрації при загонці) $N_s = N = 10^{27} \text{м}^{-3}$.

Далі визначимо значення коефіцієнту дифузії при температурі, яку ми обрали $T_1 = 1350^\circ C$, скориставшись наступним графіком:

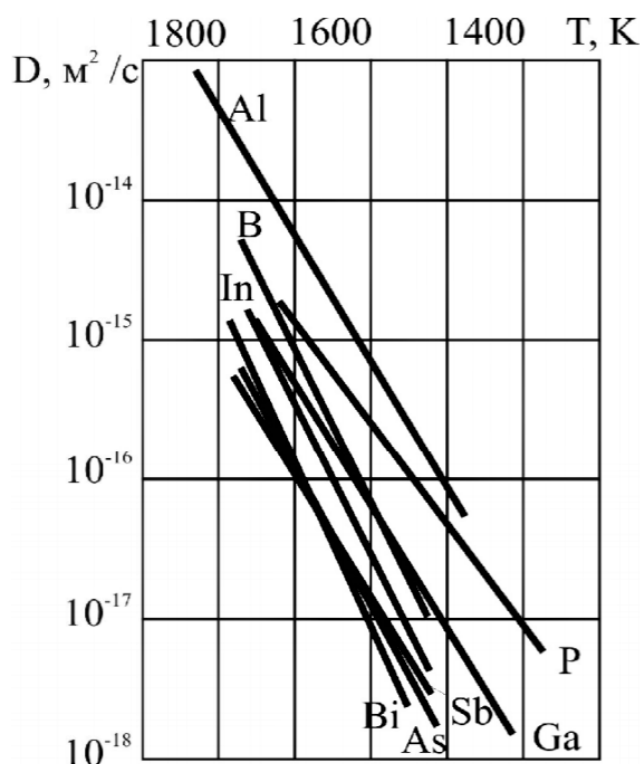


Рис.2. Залежність коефіцієнту дифузії домішки у кремній від температури.

Бачимо з графіку, що значення коефіцієнта дифузії D_1 для арсену при температурі в $1350^\circ C$ складає порядку $10^{-18} \frac{m^2}{c}$

Функцію помилок $erfV$ можемо знайти за такою формулою:

$$erfV = erf\left(\frac{X}{2\sqrt{D \cdot t}}\right) = \frac{N_s - N_1}{N_s}. \quad (2)$$

Проводимо чисельний розрахунок.

Переведемо розмірність N_s з m^{-3} в cm^{-3} :

$$N_s = 10^{27} m^{-3} = 10^{21} cm^{-3}$$

Обраховуєм значення $erfV$:

$$erfV = \frac{N_s - N_1}{N_s} = \frac{10^{21} - 5,2 \cdot 10^{17}}{10^{21}} = 1 - 5,2 \cdot 10^{-4} cm^{-3}$$

Врахувавши також, що $erfcV = 1 - erfV$, маємо що:

$$erfcV = 5,2 \cdot 10^{-4} cm^{-3}$$

Табл.1. Значення функції $erfcV$.

V	erfcV	V	erfcV
0.0	1.00000	2.6	2.36×10^{-4}
0.1	0.88754	2.7	1.343×10^{-4}
0.2	0.77730	2.8	7.5×10^{-5}
0.3	0.67135	2.9	4.11×10^{-5}
0.4	0.57161	3.0	2.21×10^{-5}
0.5	0.47950	3.1	1.16×10^{-5}
0.6	0.39614	3.2	6.02×10^{-6}
0.7	0.32220	3.3	3.05×10^{-6}
0.8	0.25790	3.4	1.52×10^{-6}
0.9	0.20309	3.5	7.43×10^{-7}
1.0	0.15730	3.6	3.55×10^{-7}
1.1	0.11979	3.7	1.67×10^{-7}
1.2	0.08969	3.8	7.68×10^{-8}
1.3	0.06599	3.9	3.48×10^{-8}
1.4	0.04771	4.0	1.54×10^{-8}
1.5	0.03389	4.1	6.7×10^{-9}
1.6	0.02365	4.2	2.86×10^{-9}
1.7	0.01621	4.3	1.19×10^{-9}
1.8	0.01091	4.4	4.89×10^{-10}
1.9	0.00721	4.5	1.96×10^{-10}
2.0	4.678×10^{-3}	4.6	7.74×10^{-11}
2.1	2.971×10^{-3}	4.7	2.99×10^{-11}
2.2	1.863×10^{-3}	4.8	1.13×10^{-11}
2.3	1.143×10^{-3}	4.9	4.21×10^{-12}
2.4	6.89×10^{-4}	5.0	1.53×10^{-12}
2.5	4.07×10^{-4}	—	—

З таблицки ми бачимо, що найближче значення функції до нашого складає $4,07 \cdot 10^{-4}$, і аргумент V який відповідає цій функції складає 2,5.

Тому з формули (2), маємо, що:

$$\frac{X}{2\sqrt{D \cdot t_1}} = 2,5 \quad (3)$$

З цього виразу легуо знаходимо час загонки:

$$t_1 = \frac{X^2}{25 \cdot D} \quad (4)$$

$$t_1 = \frac{X^2}{25 \cdot D} = \frac{(8 \cdot 10^{-7})^2}{25 \cdot 10^{-18}} = 2,56 \cdot 10^4 \text{ с}$$

Обчислимо дозу легування Q за формулою:

$$Q = 1,13 \cdot N_s \sqrt{Dt} \quad (5)$$

$$Q = 1,13 \cdot 10^{27} \sqrt{10^{-18} \cdot 2,56 \cdot 10^4} = 1,808 \cdot 10^{20}$$

5. Графічне зображення отриманих результатів

Остаточний вираз функції розподілу домішок $f(x) = N(x, t)$ наступний:

$$f(x) = N_s \times \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt_1}}\right) = 10^{27} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{10^{-18} \cdot 2,56 \cdot 10^4}}\right)$$

Зобразимо функцію $f(x)$ графічно:

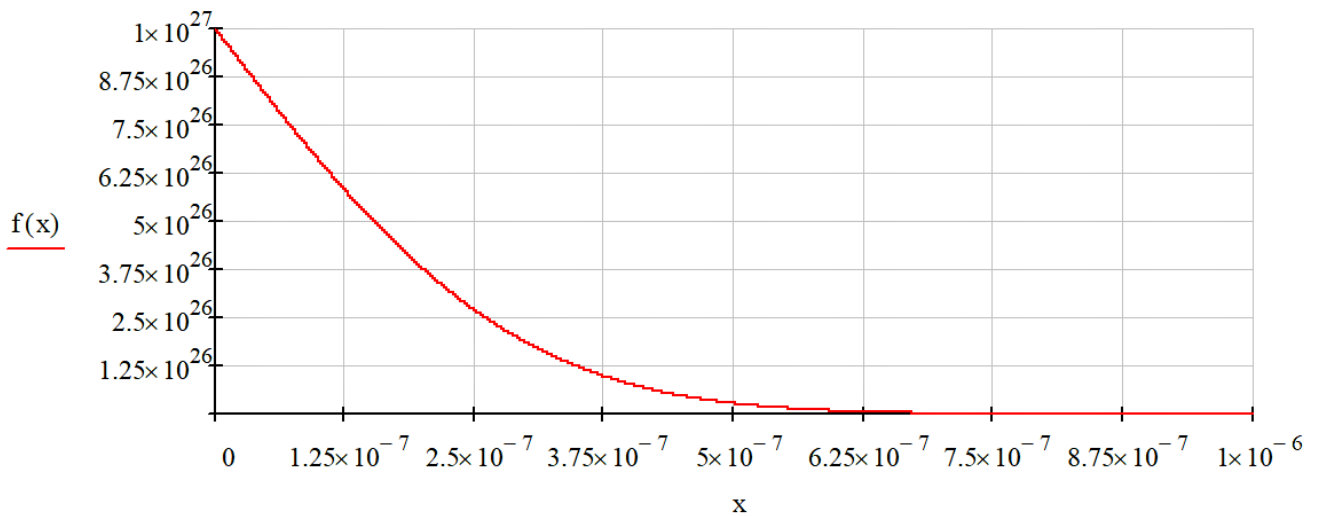


Рис.3. Профіль розподілу домішок за визначеним значенням t_1
($N(x, t_1) = f(x)$).

Табл.2. Шукані параметри.

$T_1, ^\circ C$	$D_1, \frac{m^2}{c}$	$D_1 t_1$	Q	t_1, c
1350	10^{-18}	$2,56 \times 10^{-14}$	$1,808 \times 10^{20}$	$2,56 \times 10^4$

6. Висновки з виконаної роботи

Отже, в роботі було вивчено один з найпоширеніших методів легування напівпровідника- *метод термічної дифузії*, що являє собою тепловим рухом переміщення часток у напрямку убутання їхньої концентрації. Тобто, при легуванні кремнію домішкою з певним типом провідності, частинки домішки будуть дифундувати в тіло підкладки легуючого напівпровідника, що ми і можемо побачити: концентрація домішки N_s більша ніж концентрація на рівні переходу N_1 . Тобто ми створили надлишкову концентрацію домішки- загонку, аби вона могла дифундувати. Слід зазначити, що домішка у нас n-типу оскільки арсен п'ятивалентний і для утворення зв'язків з кремнієм він застосовує свої чотири валентні електрони, а п'ятий стає незв'язаним.

Аналізуючи графік розподілу домішок при сталій температурі загонки t_1 , ми спостерігаємо його спад. З цього можна зробити висновок, що чим глибше домішка проникає вглиб легуваного напівпровідника, тим менша буде її кількість.