

*Толстенко Д. М.*

**МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ  
В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ,  
ПРОИСХОДЯЩИХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

*Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Королева А. П.*

*ТГТУ, Кафедра «Материалы и  
технология»*

При измерениях деформации в основу принципа работы предлагаемого первичного измерительного преобразователя (ПИП) положено влияние механических напряжений на проводящие свойства монокристаллического полупроводника. Используя известные зависимости и приводя их к предлагаемому устройству и методу измерения механических напряжений можно получить модель выходной характеристики преобразователя.

Структура ПИП представляет собой полевую структуру на монокристаллическом кремнии, работающем в режиме обогащения основными носителями заряда. Сопротивление проводящего канала преобразователя

$R = \rho \frac{L}{S}$ , где  $L$  и  $S$  - соответственно длина и площадь поперечного сечения канала.  $S = x \cdot z$ , где  $x$  и  $z$  - глубина и ширина канала. Подставив эти выражения в закон Ома, получим:

$$I = \frac{U \cdot x \cdot z}{\rho \cdot L} \quad (1)$$

Удельное сопротивление ( $\rho$ ) можно записать через удельную проводимость ( $\delta$ ):  $\rho = \frac{1}{\delta} = \frac{1}{q \cdot n \cdot \mu}$ , где  $q$  - заряд носителя,  $n$  - концентрация носителей,  $\mu$  - подвижность носителей заряда в канале преобразователя. Таким образом, выражение (1) принимает вид:

$$I = \frac{U \cdot x \cdot z \cdot q \cdot n \cdot \mu}{L} \quad (2)$$

Из физики полупроводников [1] известно, что результирующая подвижность носителей ( $\mu$ ) определяется по формуле:

$$\mu = \left( \frac{1}{\mu_l} + \frac{1}{\mu_i} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где  $\mu_l$  - подвижность, определяемая рассеянием на акустических фононах;

$\mu_i$  - подвижность, обусловленная рассеянием на ионизированных атомах примеси.

Подвижность, определяемую рассеянием на акустических фононах, находим по формуле:

$$\mu_l = \frac{\sqrt{8\pi} q h^4 C_{II}}{3 E_{ds} m^{5/2} (kT)^{3/2}}, \quad (4)$$

где

$q$  - заряд носителей;

$C_{II}$  - механическая деформация;

$E_{ds}$  - смещение края зоны проводимости на единицу деформации кристаллической решетки;

$T$  - температура;

$k$  - постоянная Больцмана;

$h$  - постоянная Планка.

Подвижность, обусловленная рассеянием на ионизированных атомах примеси определяется выражением [1]:

$$\mu_i = \frac{64\sqrt{\pi}(kT)^{3/2}}{N_d q^3 m^{1/2}} \left( \ln \left[ 1 + \left( \frac{12\pi\epsilon_s kT}{q^2 N_d^{1/3}} \right)^2 \right] \right)^{-1} \quad (5)$$

Подставив (4) и (5) в формулу (3) для результирующей подвижности, получим:

$$\mu = \frac{3 E_{ds} m^{5/2} (kT)^{3/2}}{\sqrt{8\pi} q h^4 C_{II}} + \frac{N_d q^3 m^{1/2}}{64 \sqrt{\pi} \epsilon_s^2 (2kT)^{3/2}} \ln \left[ 1 + \left( \frac{12 \pi \epsilon_s kT}{q^2 N_d^{1/3}} \right)^2 \right].$$

Следовательно, выражение (2) принимает конечный вид:

$$I = \frac{U_{zx} q n \left[ \frac{3E_{ds} m^{5/2} (kT)^{3/2}}{\sqrt{8\pi} q h^4 C_{II}} + \frac{N_d q^3 m^{1/2}}{64 \sqrt{\pi} \varepsilon_s^2 (2kT)^{3/2}} \ln \left[ 1 + \left( \frac{12\pi \varepsilon_s kT}{q^2 N_d^{1/3}} \right)^2 \right] \right]}{L} \quad (6)$$

Это выражение описывает зависимость выходного тока от степени деформации.

Как уже было сказано, что данная структура чувствительна к изменениям температуры. Поэтому, при измерениях деформации необходимо учитывать влияние этого фактора. Как показывает эксперимент, с увеличением температуры увеличивается значение выходного тока преобразователя при одинаковых механических нагрузках. Увеличение температуры на 1°C приводит к увеличению выходного тока на 0,2 мкА, что составляет, примерно, 0,7-0,8% от показания датчика. Такое значение погрешности, обусловленной влиянием только температуры уже существенно. Следовательно, для увеличения точности необходимо вводить термокомпенсацию в схему измерения давления.

*Если изготовить в одном технологическом процессе два таких преобразователя, то они абсолютно одинаково будут реагировать на изменения температуры. Для автоматической корректировки измерительной системы два одинаковых преобразователя следует включить в мостовую схему. Один из них участвует в измерении деформации, другой остается ненагруженным, но влияние температуры на них одинаково. Если с выхода нагруженного преобразователя через цепь обратной связи подать импульсный сигнал на управляющий изолированный электрод ненагруженного, то система будет саморегулироваться.*

#### Список литературы

1. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий приборов и схем. – М: высшая школа, 1990. – 320с.