

## Влияние температурной зависимости коэффициента $\pi_{44}$ кремния на характеристики высокотемпературного преобразователя давления

*Годовицын И.В., Суханов В.С., Панков В.В.*

НПК "Технологический центр", г. Зеленоград, Москва

Рассмотрены вопросы разработки и изготовления высокотемпературного преобразователя давления на КНИ-структуре (кремний-на-изоляторе). В отличие от традиционного преобразователя, в котором тензорезистор расположен в теле мембраны и изолирован от мембраны р-п-переходом, а также слоем диэлектрика для предотвращения поверхностных утечек, в кремниевом преобразователе давления на КНИ-структуре тензорезистор изолирован от мембраны толстым слоем диэлектрика [1,2], что обеспечивает отсутствие токов утечки при повышенной (более +150 °С) и возможность создания высокотемпературных преобразователей давления. Традиционно тензорезисторы легируются бором с концентрацией  $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Данный уровень легирования обеспечивает высокий коэффициент  $\pi_{44}$  и низкую температурную чувствительность сопротивления тензорезисторов [3]. В результате технологических обработок в тензорезисторах на КНИ-структуре бор распределяется равномерно, в отличие от диффузионных тензорезисторов, в которых бор распределяется по нормальному закону. Характер распределения и концентрация бора влияет на величину главного тензорезистивного коэффициента кремния  $\pi_{44}$ , который непосредственно влияет на чувствительность преобразователя. Также  $\pi_{44}$  имеет сильную зависимость от температуры. Вместе с конструктивными факторами эти факторы определяют чувствительность кремниевого преобразователя давления.

Для кремниевого преобразователя с идеальной круглой мембраной и радиально-тангенциальным расположением тензорезисторов изменение сопротивления тензорезисторов при допущении, что их размерами можно пренебречь, описывается следующим выражением:

$$\frac{\Delta R}{R} = \pm 0,15 \pi_{44} p \frac{a^2}{h^2},$$

где  $p$  – давление,  $a$  – радиус мембраны,  $h$  – толщина мембраны, знак "+" для тангенциального тензорезистора, знак "-" для радиального тензорезистора. Однако, геометрия реальной структуры преобразователя отличается наличием большого количества деталей рельефа, а также отклонениями от заданных параметров вследствие технологических разбросов. Измерения выходных характеристик высокотемпературного преобразователя давления позволяет оценить совокупное влияние геометрических неоднородностей и коэффициента  $\pi_{44}$  на чувствительность преобразователя.

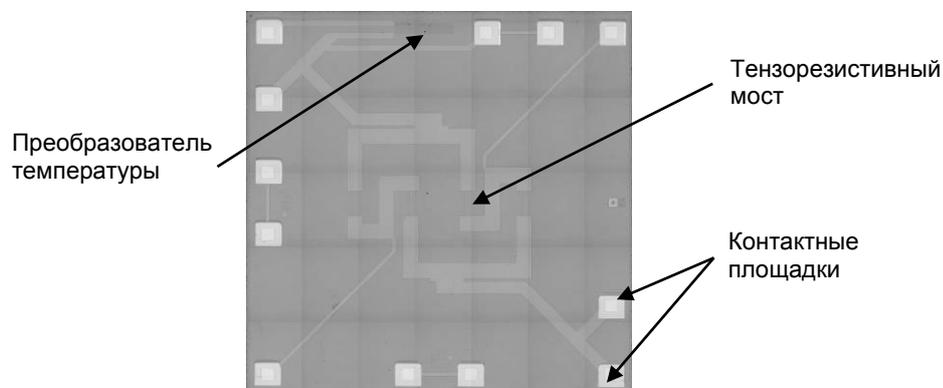


Рисунок 1 – Кристалл высокотемпературного преобразователя давления на КНИ-структуре

Фотография кристалла на КНИ-структуре приведена на рисунке 1. В дополнение к тензорезистивному мосту на кристалле размещены преобразователь температуры в виде

резистора номиналом 30 кОм и тестовые элементы для измерения слоевого сопротивления тензорезисторов и шин разводки. Золотые контактные площадки сформированы с использованием напыления через жесткую маску.

Результаты измерений выходных характеристик макетов высокотемпературных преобразователей давления на КНИ-структуре и традиционных преобразователей давления типа ИПД8 приведена на рисунке 2. Также на графике приведена температурная зависимость коэффициента  $\pi_{44}$  от температуры [3]. Данная зависимость имеет асимптотический характер, то есть с увеличением температуры скорость уменьшения  $\pi_{44}$  снижается. Характер изменения чувствительности тензорезистивных преобразователей (высокотемпературного и традиционного) от температуры хорошо согласуется с зависимостью  $\pi_{44}$  от температуры для концентрации бора  $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Нормировка зависимостей дает наглядное представление о температурной зависимости выходного сигнала и пьезорезистивного коэффициента  $\pi_{44}$ . Как можно видеть из рисунка 2, нормированные зависимости хорошо совпадают. Незначительное отклонение зависимости для ИПД8 может говорить о влиянии неравномерного распределения бора в тензорезисторах на чувствительность преобразователя.

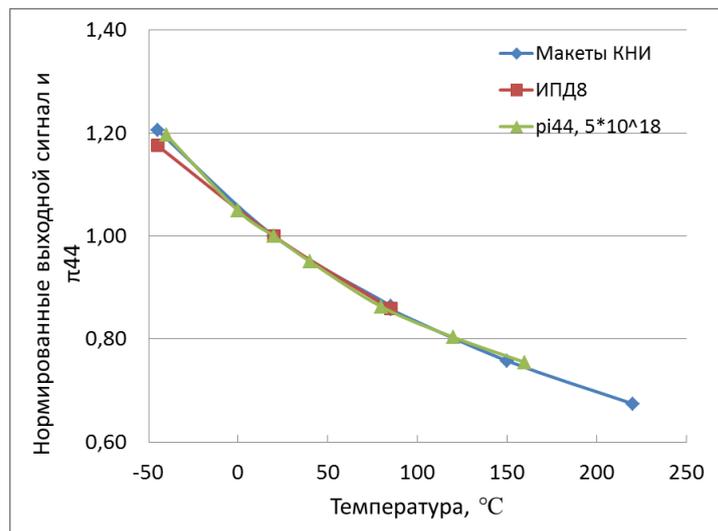


Рисунок 2 – Зависимость нормированных выходного сигнала преобразователей давления и коэффициента  $\pi_{44}$  от температуры

Работы выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 14.577.21.0245, уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57717X0245).

В работе использовалось оборудование ЦКП "Функциональный контроль и диагностика микро- и наносистемной техники" (ЦКП НПК "Технологический центр").

#### Литература

1. Li S. et al A Novel SOI Pressure Sensor For High Temperature Application // J. Semicond. 2015. Vol. 36, No. 1 P. 014014:1-5.
2. Jiang X. et al High-Temperature Piezoelectric Sensing // Sensors 2014. V.14, P. 144-169.
3. Ваганов В.И. Интегральные тензопреобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1983. 136 с.