

*А.В. Хованов**

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Полупроводниковые тензоэлектрические приборы служат для измерения давлений и деформаций. Тензорезисторы основаны на тензорезистивном эффекте, который состоит в том, что сопротивление по-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО «ТГТУ» Ю.А. Брусенцова, д-ра техн. наук ФГБОУ ВПО «ТГТУ» А.И. Фесенко.

лупроводника зависит от давления на полупроводник. Материалом для тензорезисторов чаще всего служит кремний, но могут быть использованы и другие полупроводники. К основным параметрам тензорезисторов относятся номинальное сопротивление (от десятков ом до десятков килоом), т.е. сопротивление при отсутствии давления, и коэффициент тензочувствительности, равный отношению относительного изменения сопротивления R/R к относительному изменению длины тензорезистора l/l . Этот коэффициент зависит от вещества полупроводника, типа электропроводности, удельного сопротивления и направления деформации. У полупроводников n -типа коэффициент тензочувствительности отрицательный, т.е. при возрастании давления сопротивление уменьшается, а у полупроводников p -типа – положительный. Практически этот коэффициент может достигать сотен. Тензорезисторы характеризуются еще предельной допустимой деформацией, которую нельзя превышать во избежание выхода прибора из строя.

Помимо кристаллических тензорезисторов – из кристаллического полупроводника n - или p -типа могут быть поликристаллические тензорезисторы, у которых при деформации сопротивление дополнительно изменяется за счет изменения сопротивления контактов между отдельными кристалликами [1].

Полупроводниковые тензодиоды работают по принципу изменения вольт-амперной характеристики под действием давления. Это изменение связано с тем, что при деформации изменяется высота потенциального барьера в p - n -переходе. Коэффициент тензочувствительности у тензодиодов достигает сотен и даже тысяч.

Он может быть еще выше у туннельных диодов [2].

У тензотранзисторов также под действием давления изменяется вольт-амперная характеристика. В зависимости от того, к какой области приложено давление, при его возрастании может наблюдаться уменьшение или увеличение тока.

В тензотиристорах с увеличением давления на базовый электрод, играющий роль управляющего электрода, возрастает ток эмиттера и за счет этого понижается напряжение включения.

При деформации полупроводника происходит изменение расстояний между атомами, что приводит к изменению ширины запрещенной зоны.

При деформации ТЧЭ изменяется удельное сопротивление полупроводникового кристалла (тензорезистивный эффект).

$$\rho = \rho_0(1 + \pi_l X), \quad (1)$$

где ρ_0 – удельное сопротивление недеформированного полупроводника, Ом·м; π_l – продольный коэффициент пьезосопротивления, Па⁻¹.

Продольный коэффициент пьезосопротивления определяется параметрами кристаллической решетки, кристаллографическим направлением и типом проводимости полупроводника.

Сопротивление элементарного участка проводящего канала структуры длиной dx определяется следующей зависимостью:

$$dR_k = \frac{R_k}{L} dx = \frac{\rho dx}{ZW}, \quad (2)$$

где R_k – сопротивление канала, Ом; L – длина канала, м; ρ – удельное сопротивление, Ом·м; Z – ширина канала, м; W – глубина канала, м.

Ток, протекающий через любое сечение канала, одинаков, следовательно

$$dV = I_D dR_k. \quad (3)$$

Подставляя в формулу (2) значение ρ из формулы (1), полученное выражение dR_k в формулу (3), получаем выражение (4).

$$dV = I_D \frac{\rho_0(1 + \pi_i X)}{ZW}. \quad (4)$$

Структурная схема для измерения электрических параметров экспериментального ТЧЭ элемента представлена на рис. 1.

На рисунке 2 представлены зависимости выходного сигнала ТЧЭ от механического напряжения для структур с различной степенью легирования полупроводника. Из графиков видно, что с увеличением концентрации примесных атомов увеличивается выходной ток ТЧЭ.

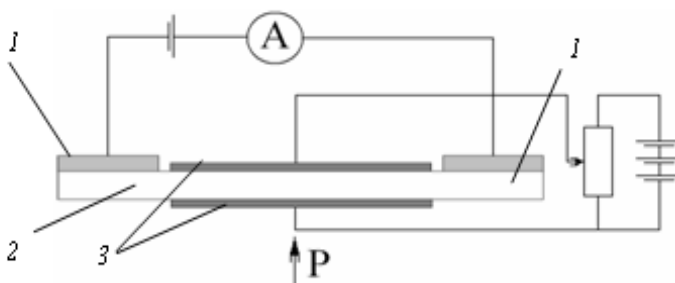


Рис. 1. Экспериментальный тензочувствительный элемент:

1 – боковые медные контакты; 2 – исследуемая кремниевая пластина;

3 – поперечные медные контакты

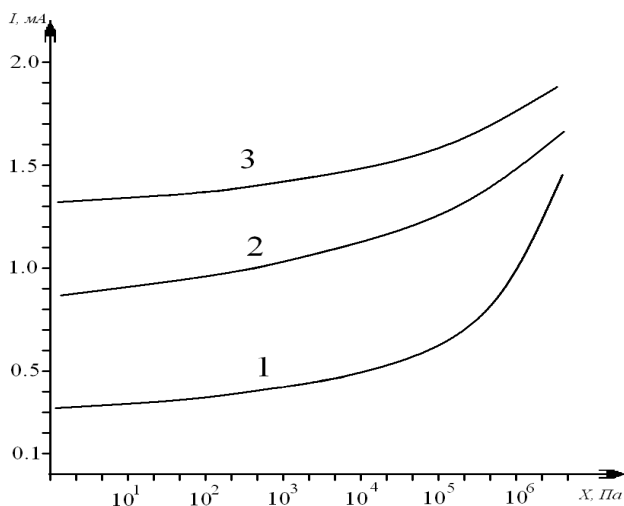


Рис. 2. Зависимость выходного тока от механического напряжения для различных концентраций примеси:

I – собственный полупроводник; $2 - N_D = 10^{14} \text{ см}^{-3}$; $3 - N_D = 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Однако с увеличением содержания примесных атомов в монокристалле уменьшается угол наклона графиков, определяющий величину изменения выходного сигнала от механического напряжения, т.е. чувствительность полупроводникового ТЧЭ. Уменьшение чувствительности связано с уменьшением подвижности основных носителей заряда.

С ростом количества примесных атомов в монокристалле увеличивается вероятность столкновения электронов проводимости с этими атомами. Следовательно, увеличение рассеяния носителей на ионах примеси уменьшает подвижность основных носителей заряда.

В результате проведенных экспериментов была отработана технология получения тензочувствительных полупроводниковых элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жеребцов, И.П. Основы электроники / И.П. Жеребцов. – Л. : Энергоатомиздат, 1985.
2. Щенников, В.В. Термоэлектрические свойства кремния при высоком давлении в области перехода полупроводник – металл / В.В. Щенников, С. Викт, А. Попова // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29, вып. 14.

Кафедра «Материалы и технология» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»