

УДК 621.315;548.552

**СТРУННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
НА ОСНОВЕ НИТЕВИДНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ $Ge_{1-x}Si_x$**

Ш.М.АББАСОВ^а, Р.И.БАЙЦАР^б, Ш.И.АББАСОВ^а, Е.П.КРАСНОЖОНОВ^б

Сектор Радиационных Исследований АН Азербайджана^а

370143, Баку, пр.Г.Джавида,31а

Львовский Политехнический Институт^б

Львов, ул.Котляровского, 1 НДЛ 30

Описан сравнительно простой по конструкции и в изготовлении струнный тензопреобразователь, представляющий собой электромеханический резонатор на упругих колебаниях монокристаллических струн из полупроводниковых материалов на основе монокристаллов Ge-Si. Приводятся примеры использования такого класса преобразователей в конкретных конструкциях устройств для измерения различных физических параметров.

В настоящее время весьма высокие требования предъявляются к точности средств измерения и контроля, применяемых для исследования различных физических характеристик изучаемых объектов. Практическая реализация данных требований возможна лишь в случае применения информационно-вычислительных комплексов, построенных на основе частотных датчиков. Разработка и создание соответствующих датчиков возможна при использовании в качестве чувствительных элементов струн с физико-механическими свойствами близкими к идеальным и прямом преобразовании механических колебаний струн в электрический сигнал.

Идеальной механической средой является структурно-совершенный монокристалл, обладающий способностью изменять свои электрические свойства при изменении механического состояния. Нами было предложено использовать в качестве струны нитевидные монокристаллы сплавов $Ge_{1-x}Si_x$ [1-3], которые обладают высокой радиационной стойкостью, механической прочностью и упругостью, значительно превышающими значения этих параметров для объемных монокристаллов. При растяжении монокристаллической струны динамический диапазон изменения частоты ее упругих колебаний практически соответствует области упругой деформации материала и, следовательно, ограничен пределом механической прочности.

При определенных условиях выращивания и легирования можно получить любые размеры кристаллов от субмикронных до сотен микрон в диаметре и длиной до нескольких сантиметров с требуемыми электрофизическими свойствами.

Критерием достижения наивысшей чувствительности ($>10^9$ Гц/отн.ед. деформации струнного преобразователя к измеряемой величине) является возможность использования предельно коротких и тонких кристаллов. Наличие у этих кристаллов тензоэффекта (коэффициент тензочувствительности $K>150$) позволяет осуществить в них прямое преобразование механических колебаний в колебания электрического тока или напряжения. Для возбуждения собственных механических колебаний кристаллов использован электростатический метод, который имеет ряд преимуществ перед другими известными способами. Физические основы работы полупроводникового струнного тензопреобразователя описаны в [4].

В отличие от других струнных преобразователей, используемых в настоящее время, струнные монокристаллические тензопреобразователи позволяют обеспечить более высокую чувствительность и точность измерения при минимальных внешних габаритах и потребляемой мощности.

Поведение сопротивления полупроводниковых тензодатчиков можно выразить следующей функциональной зависимостью

$$R_{D_0} = f(T^0; \varepsilon; R_{D_0}; \rho_0),$$

где T^0 – абсолютная температура; ε – уровень деформации; R_{D_0} – сопротивление ненапряженного датчика; ρ_0 – удельное сопротивление. Эту зависимость можно представить в следующем виде :

$$\frac{\Delta R}{R_{D_0}} = f\left(\frac{\varepsilon}{T^0}; \frac{\varepsilon^2}{T^2}; \frac{\varepsilon^3}{T^3}; \dots\right).$$

Данное выражение можно рассматривать как уравнение поверхности в трехмерном пространстве с осями: деформация; температура; $\Delta R/R_{D_0}$ и параметр ρ

Общее выражение для коэффициента тензочувствительности будет:

$$K = \frac{d(\Delta R / R_{D_0})}{d\varepsilon},$$

которое можно представить в виде:

$$K = C_1(\rho_0) + 2C_2(\rho_0)\varepsilon$$

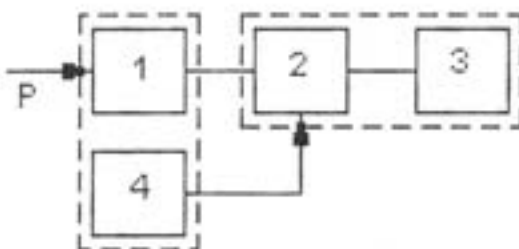


Рис.1

Структурная схема струнного тензопреобразователя:

1 – упругий элемент; 2 – резонатор; 3 – преобразователь колебаний; 4 – возбудитель колебаний.

Простейшим способом изменения механического напряжения в кристалле является непосредственное его соединение с деформируемым вследствие внешнего воздействия упругим элементом (УЭ). Деформация УЭ приводит к изменению собственной частоты колебаний кристалла. Структурная схема струнного тензопреобразователя показана на Рис.1. По отношению к тензопреобразователю УЭ выполняет функцию элемента для возбуждения собственных механических колебаний в кристалле, т.е. УЭ служит одновременно для передачи механических напряжений кристаллу и для возбуждения в нем колебаний. Отпадает необходимость в устройстве, преобразующем механические колебания кристалла в электрический сигнал. Такое преобразование происходит непосредственно в самом кристалле за счет его внутренних свойств. Таким образом, удастся реализовать конструкцию преобразователя, соответствующую конструкциям простейших тензорезисторных датчиков, но превосходящего их по чувствительности на 2-3 порядка.

На Рис.2 показана схема датчика давления, который содержит монокристаллическую кремниевую мембрану и струнный тензопреобразователь из нитевидного монокристалла Ge-Si. Использование приема, когда положение кристалла на мембране при ее деформации давлением соответствует свободному (ннатянному) состоянию позволило получить максимальную чувствительность при измерении пульсаций давления. Датчики абсолютного давления и разности давлений такого типа могут использоваться в автоматизированных системах жизнеобеспечения [5].

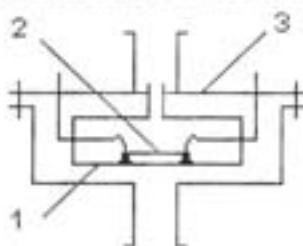


Рис.2

Схема конструкции датчика давления:

1 – мембранно-преобразующий узел;
2 – резонатор; 3 – корпус с патрубками.

Чувствительный элемент таких устройств представляет собой электромеханический резонатор струнного типа с электростатическим возбуждением поперечных механических колебаний. Струна выполнена из тензочувствительного нитевидного монокристалла $n-Ge_{1-x}Si_x$ длиной 1-5мм, диаметром 8-12мкм и жестко закреплена концами на пластине или деформируемой поверхности (в упругом элементе) на расстоянии 50мкм от нее. При увеличении атомного процента Si в $n-Ge_{1-x}Si_x$ увеличивается тензочувствительность датчика.

Применительно к задаче измерения температуры может быть использован струнный датчик, особенностью конструкции которого является то, что подложка, на которой закреплен в узлах кристалл, выполнена из материала с низким коэффициентом линейного расширения (например, кварц). Схема термометра показана на Рис.3. Использование кварцевой подложки снижает инерционность изолированной струны (порядка 0,1-0,3с). Такие струнные термометры могут найти применение для измерения температуры окружающей среды.

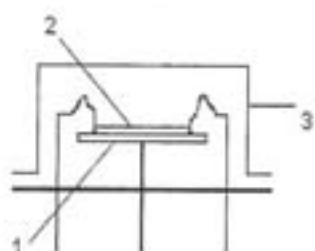


Рис.3

Схема конструкции датчика температуры:
1 – кварцевая подложка; 2 – резонатор; 3 – защитный корпус.

Миниатюрные полупроводниковые датчики температуры на основе нитевидных кристаллов предназначены для локального измерения температуры в труднодоступных местах различных устройств. В качестве чувствительных элементов могут быть использованы терморезисторы из нитевидных кристаллов $n-Ge_{1-x}Si_x$ диаметром 20мкм и длиной до 1мм с проволочными контактными микровыводами.

Высокая чувствительность струнных датчиков к давлению, превышающая 100Гц/мм вод.ст., позволяет применять их в устройствах для измерения концентрации газа. В основу их работы положено сочетание оптического и деформационного методов измерения. Изменения давления происходят из-за того, что молекулы газа, поглощая кванты падающего света, приходят в возбужденное состояние, а затем энергия возбуждения их колебательно-вращательных степеней свободы переходит в энергию поступательного движения молекул, т.е. в тепло, соответствующее повышению давления.

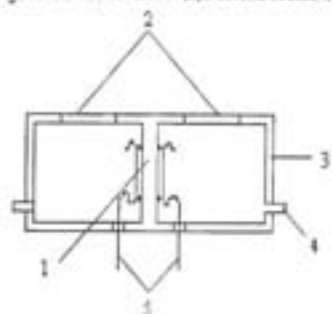


Рис.4

Схема конструкции приемной части газоанализатора: 1 – мембрана с закрепленными резонаторами; 2 – окна; 3 – корпус, разделенный мембраной на два симметричных объема; 5 – термовыводы.

Схема конструкции приемной части газоанализатора на базе монокристаллических резонаторов показана на Рис.4. Приемные камеры разделены монокристаллической мембраной на два симметричных объема, которые заполняются эталонным газом. Окна выполнены из прозрачного для инфракрасного света стекла. Благодаря симметрии устройства повышена чувствительность в сравнении с существующими устройствами [6]. Температурная компенсация обеспечивается дифференциальной схемой работы тензопреобразователей.

Исследования электромеханических характеристик нитевидных кристаллов $n-Ge_{1-x}Si_x$, подвергнутых электронному и γ -облучению (Co^{60}) показали их повышенную

радиационную стойкость по сравнению с кристаллами Ge или Si, которая существенно возрастала с увеличением процентного содержания кремния в образце.

1. Р.И.Байцар, Е.П.Красножонов, А.П.Решетило, *Сб. док. VII координационного совещания по исследованию и применению твердых растворов германия-кремния, Баку, (1986) 96.*
2. Ш.М.Аббасов, Г.Т.Агавердиева, К.Р.Аллахвердиев, Р.И.Байцар, *Тез док. Всесоюз. Конф. «Интегральные преобразователи неэлектрических величин», Баку, (1989) 2.*
3. Ш.М. Аббасов, Г.Т. Агавердиева, Р.И.Байцар, *Тез. док. VIII коорд. совещания по исследованию и применению сплавов германия-кремния, Ташкент, (1991) 79.*
4. Ю.Г.Ахроменко, Р.И.Байцар, Е.П.Красножонов, *Физическая электроника, Респ. Межвед. Научн.-техн. сборник, Вып.31 (1985) 32.*
5. Е.П.Красножонов, Р.И.Байцар, А.В.Родионов, *Тез. док. Всесоюз. школы по техническим средствам и методам исследования мирового океана. Москва, 2 (1991) 36.*
6. *Автоматические газоанализаторы. Москва, ЦИНТИ электротехнической промышленности и приборостроения, (1961) 599.*

**RADIASIYAYA DAVAMLI $Ge_{1-x}Si_x$ MONOKRİSTALLARI
ƏSASINDA SİMLİ ÇEVİRİCİLƏR**

Ş.M.ABBASOV, R.I.BAYTSAR, Ş.İ.ABBASOV, Y.P.KRASNOJONOV

Konstruksiyasına və hazırlanmasına görə sadə olan simli Ge-Si monokristallarından hazırlanmış elastik rəqsləri əsasında işləyən elektromexaniki rezonatordan ibarət olan tenzoçevirici təsvir edilmişdir. Müxtəlif fiziki parametrlərin ölçülməsi üçün konkret konstruksiyalarda bu cür çeviricilərdən istifadə edilməsinə dair misallar gətirilir.

**STRINGED CONVERTERS
ON A BASIS OF $Ge_{1-x}Si_x$ MONOCRYSTALS**

SH.M. ABBASOV, R.I.BAITSAR, SH.I. ABBASOV, Y.P.KRASNOJONOV

The representing electromechanical resonator on elastic vibrations of monocrystal strings from semiconductor materials rather simple in manufacturing of stringed tenzoconverter on the basis of Ge-Si monocrystals was described. The examples of such class of converters using in concrete designs of devices for measurement of various physical parameters were reported.

Редактор: А.Халилова