

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗЛИЧНЫХ СРЕД

А.Т.Рахманов

*Ташкентский государственный
технический университет*

им. И.Каримова

Аннотация. Изучение основных характеристик кремниевых преобразователей температуры показывают, что в диапазоне от -50°C до $+120^{\circ}\text{C}$ можно получить довольно достоверные результаты, но с увеличением температуры измеряемой среды возрастает нелинейность статической характеристики, следовательно, снижается достоверность и точность измерительной информации. Для компенсации температурной погрешности при смещении постоянным током падение напряжения зависит от температуры. Когда диод выполнен как часть интегральной схемы, он создается путем замыкания базы и эмиттера $p-n-p$ транзистора. При этом напряжение зависит не только от температуры, но также от силы тока и свойств устройства. Чтобы исключить влияние этих переменных, практические схемы переключают диод поочередно на два источника постоянного тока и определяют температуру на основе разницы между двумя прямыми напряжениями.

Ключевые слова: кремний, температура, полупроводник, интегральная схема, преобразователь, $p-n$ переход, статическая характеристика.

Все известные полупроводниковые измерители температуры основаны на использовании в качестве преобразователей температуры в электрический сигнал либо полупроводниковых резисторов, либо полупроводниковых диодов и транзисторов. Полупроводниковые резисторы являются самыми распространенными преобразователями температуры, выпускаемыми промышленностью. По материалу, используемому при создании полупроводниковых резисторов, они подразделяются на поликристаллические

и монокристаллические резисторы. По значению температурного коэффициента сопротивления (ТКС) полупроводниковые резисторы можно разделить на два класса-приборы с отрицательным и приборы с положительным ТКС. Отрицательный ТКС имеют, как правило, полупроводниковые резисторы, изготовленные на основе медномарганцевых и кобальто-марганцевых оксидных полупроводников [2, 4].

Получение необходимых величин сопротивлений и ТКС достигается изменением процентного соотношения оксидов металлов в композиции при использовании метода совместного осаждения щёлочью азотнокислотных соединений марганца, кобальта, меди и прокаливания гидратов окислов. Для получения полупроводниковых резисторов исходный материал в виде порошка с органической связкой обрабатывается выдавливанием через мундштук или прессованием, по технологии, широко используемой в керамическом производстве [5, 7,9].

Такая технология позволяет обеспечить довольно низкие метрологические характеристики, так например, допустимое отклонение сопротивления от номинала у большинства типов резисторов составляет $\pm 20\%$, а разброс ТКС для партии одного номинала составляет $\pm 10\%$. Кроме того, особенностью таких полупроводниковых резисторов является нелинейная температурная характеристика. Поэтому данные полупроводниковые резисторы редко используются в приборах для измерения температуры и их область применения, как правило, ограничивается системами терморегулирования и термозащиты [8, 11,15].

Полупроводниковые резисторы на основе монокристаллических полупроводников (кремния, германия, карбида кремния) выполняются как с положительным, так и с отрицательным ТКС. Кремниевые резисторы могут быть выполнены в виде слоя определенного типа проводимости в исходной кремниевой пластине противоположного типа проводимости, либо в виде узкого канала требуемого типа проводимости в пластине.

Омические контакты создаются путём химического осаждения никеля. Полупроводниковые резисторы на основе кремния (отечественные, например, СТ5-1, СТ6-1А, СТ6-3Б и зарубежные, например, типа КТУ-81) имеют более высокий ТКС и значительно меньшие габариты по сравнению с поликристаллическими резисторами, а также с аналогичными резисторами, выполненными из меди и платины. Они обладают почти линейной зависимостью и могут быть изготовлены с высоким номинальным значением сопротивления. Кремниевые резисторы могут быть выполнены с допускаемым отклонением от номинального сопротивления $1 \div 2$ % (рис.1).



Рис.1. Общий вид полупроводникового кремниевого преобразователя температуры

Это достигается химическим, электрохимическим травлением или лазерным выжиганием резисторного слоя на кремниевой пластине. Использование кремниевых резисторов для измерения температуры в случае массового применения представляет особый интерес, так как они значительно дешевле других аналогичных преобразователей температуры и имеют большой температурный коэффициент (до 1 %/К). Недостатками кремниевых резисторов по сравнению с их металлическими аналогами являются меньший диапазон измеряемых температур и некоторая нелинейность температурной характеристики. Однако, для определенных применений эти недостатки имеют второстепенное значение [1].

Термопары известны своим широким диапазоном температур и малым дрейфом. Они обладают высочайшей точностью и стабильностью, а также хорошей линейностью. Термисторы быстрые и обладают высокой чувствительностью. Однако все эти датчики требуют небольшого количества

интерфейсных схем и сложны в использовании. Относительно новички, полупроводниковые датчики температуры обладают рядом преимуществ, с которыми не могут сравниться другие датчики.

Хотя их температурный диапазон от -50°C до $+150^{\circ}\text{C}$ довольно ограничен, полупроводниковые датчики температуры имеют несколько ценных характеристик, таких как превосходная линейность, высокая чувствительность и чрезвычайно малый размер. Они недорогие и не требуют линеаризации, компенсации холодного спая или преобразования сигнала; часто совмещают несколько функций на одной микросхеме; и производить аналоговые, логические или цифровые выходы, которые могут быть подключены напрямую к аналоговой измерительной схеме, аналого-цифровому преобразователю (АЦП), микропроцессору или контроллеру вентилятора. Помехоустойчивость измерительной системы превосходит другие датчики, поскольку выходной сигнал уже усилен или оцифрован внутри интегральной схемы (ИС).

Чувствительный элемент полупроводниковый датчик температуры-это ИС, которая объединяет чувствительный к температуре элемент с преобразователем сигнала, выходом и другими типами схем на одной микросхеме. Он основан на изменении напряжения на p - n -переходе, по сути, на кремниевом диоде, в ответ на изменение температуры для определения температуры окружающей среды. Подложка биполярной ИС предназначена для построения транзисторов p - n - p и n - p - n , поэтому на практике чувствительный диод обычно формируется с использованием транзистора с закороченными базой и коллектором. Следующее уравнение показывает влияние температуры на прямое напряжение кремниевого p - n перехода:

$$U_n = U_1 \left(\frac{T}{T_0} \right) + U_2 \frac{T}{T_0} + \frac{\eta k T}{q} \ln \frac{T}{T_0} + \frac{k T}{q} \ln \frac{I_0}{I_1}, \quad (1)$$

где U_1 -напряжение запрещенной зоны при абсолютном нуле; U_2 - прямое напряжения при токе I_1 и температуре T_0 ; T -температура; T_0 - эталонная температура; k -постоянная Больцмана; q -заряд электрона; η -константа, связанная

с конкретным устройством; I_0 –ток при температуре T ; I_1 - прямой ток при эталонной температуре T_0 .

На рис.2 представлена статическая характеристика кремниевого преобразователя температуры типа LM-50. Статическая характеристика кремниевого преобразователя температуры снята в диапазоне температуры от -60 до 120 °C.

Рассмотрим кремниевый термочувствительный преобразователь выполненный с использованием биполярного диода. При смещении постоянным током падение напряжения зависит от температуры. Когда диод выполнен как часть ИС, он создается путем замыкания базы и эмиттера $p-n-p$ транзистора. При этом напряжение зависит не только от температуры, но также от силы тока и свойств устройства.

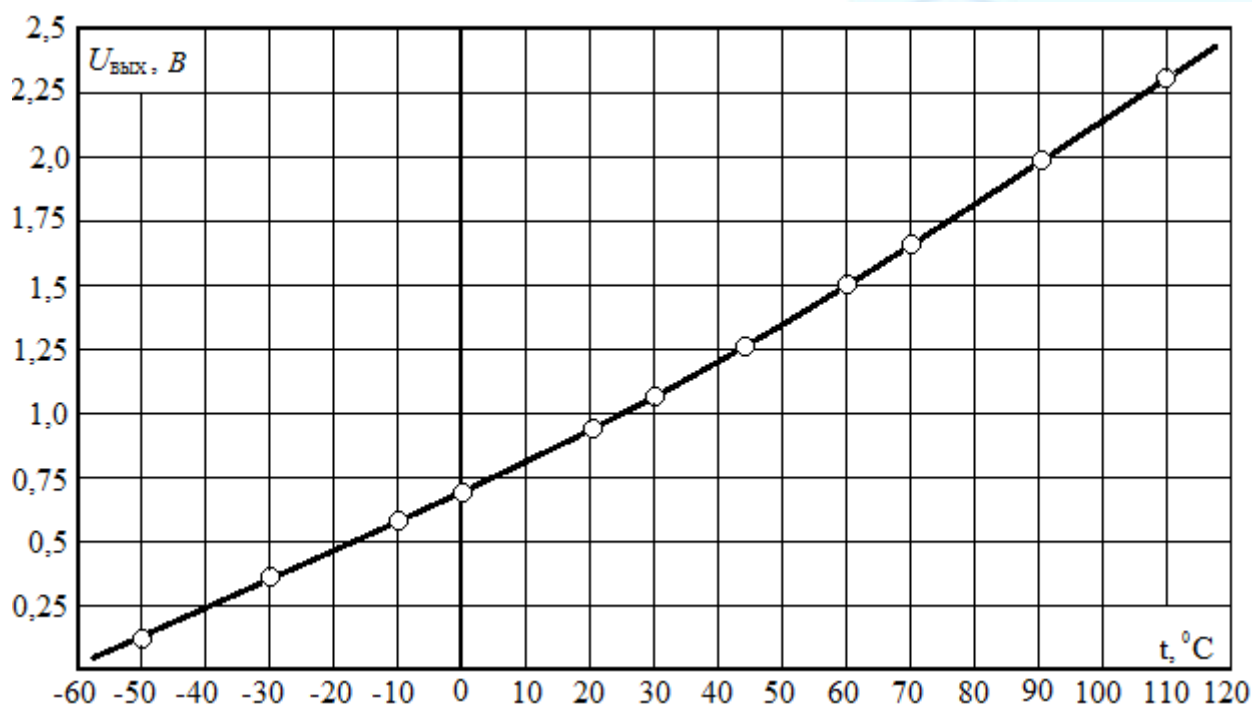


Рис.2. Статическая характеристика кремниевого преобразователя температуры типа LM-50

Чтобы исключить влияние этих переменных, практические схемы переключают диод поочередно на два источника постоянного тока и определяют

температуру на основе разницы между двумя прямыми напряжениями или их отношения:

$$U_{\text{вых}} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_1}{I_2}, \quad (3.2)$$

где I_1 -прямой ток от первого источника тока; I_2 -прямой ток от второго источника тока.

Часто выбирается I_2 в 10 раз больше, чем I_1 . В этом случае тепловой коэффициент чувствительного элемента составляет примерно $200 \text{ мкВ} / ^\circ\text{С}$.

Закключение. Изучение основных характеристик кремниевых преобразователей температуры показывают, что в диапазоне от -50°С до $+120^\circ\text{С}$ можно получить довольно достоверные результаты, но с увеличением температуры измеряемой среды возрастает нелинейность статической характеристики, следовательно, снижается достоверность и точность измерительной информации. Для компенсации температурной погрешности при смещении постоянным током падение напряжения зависит от температуры. Когда диод выполнен как часть ИС, он создается путем замыкания базы и эмиттера p - n - p транзистора. При этом напряжение зависит не только от температуры, но также от силы тока и свойств устройства. Чтобы исключить влияние этих переменных, практические схемы переключают диод поочередно на два источника постоянного тока и определяют температуру на основе разницы между двумя прямыми напряжениями.

Литературные источники

1. Голуб В. С. Микросхемные датчики температуры. Датчики и системы. 2007. - №12. - С. 29-34.
2. Громов В.С., Кривоносов А.И., Утямышев Р.И. Устройство для измерения температуры. Авторское свидетельство №361398, № 1, 1973.

3. Громов В.С., Шестимеров С.М., Увайсов С.У. Современные полупроводниковые интегральные датчики температуры. «Датчики и системы», №12, 2010. С.59-68.
4. Гуртов В.А. Твердотельная электроника. Учебное пособие. Петрозаводск, 2004. 150 с.
5. Датчики. Перспективные направления развития. Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П. Изд-во НГТУ, 2001.
6. Евдокимов И.Н. Методы и средства исследований. Температура. РГУНГ им. И.М. Губкина, Кафедра физики, М.: 2004. 106 с.
7. Зимин Г.Ф. Проверка и калибровка термоэлектрических преобразователей. Учебное пособие. М.: АСМС, 2002.-48 с.
8. Кривоносов А.И., Кауфман В.Я. Статические характеристики поликристаллических терморезисторов. М.: Энергия, 2006.-120 с.
9. Современные датчики. Справочник. Дж. Фрайден. Перевод с англ.Ю. А. Заболотной под ред. Е. Л. Свинцова. М.: «Техносфера», 2005.-586 с.
10. Устройство для измерения температуры. Патент РФ, №100827 от 27.12.2010 г. Шестимеров С. М., Громов В.С., Увайсов С. У.
11. Шестимеров С.М. Высокоточный транзисторный датчик температуры. Датчики и системы - М.: 2010.- № 11, С.19 – 22.
12. Шестимеров С.М. Особенности полупроводниковых резистивных термодатчиков. Материалы международной научно-практической конференции «Инфо-2010», 1-10 октября 2010, С. 366 - 368.
13. Шестимеров С.М. Первичные преобразователи температуры на основе диодных структур. «Инфо-2010», 1-10 октября 2010, С. 366 - 368.
14. Шестимеров С.М. Полупроводниковые интегральные датчики температуры. «Надёжность и качество 2010» - Пенза, ПГУ, 2010.-С.161-164.
15. Шестимеров С.М. Современные полупроводниковые интегральные датчики температуры. Измерения. Контроль. Автоматизация. - М.: 2010. № 12. С. 59 - 68

16. Шестимеров С.М. Транзисторный термопреобразователь с улучшенными характеристиками. «Надёжность и качество 2010» -Пенза, ПГУ, 2010. С. 477 - 479.