

УДК 621.315.592

ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ SI<NI>

Маннанов М.И.

Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при
Национальном университете Узбекистана (Ташкент), Узбекистан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8347356>

Аннотаци. Приводится описания датчики скорости потока сплошных сред на основе кремния с нанокластерами атомов никеля обладающего высокой чувствительностью и стабильностью выходных параметров. Рассматривается режим диффузии никеля в кремний для создания датчика скорости потока сплошных сред. Исследованы электрофизические параметры датчика.

Ключевые слова: датчик, поток, легирование, кремний, никел, температура, диффузия, чувствительность, удельное сопротивление.

THERMOANEMOMETRIC SENSOR BASED ON SI<NI>

Annotation. Continuous media flow velocity sensors based on silicon with nanoclusters of nickel atoms with high sensitivity and stability of output parameters are described. The mode of diffusion of nickel into silicon for creating a continuous media flow velocity sensor is considered. The electrophysical parameters of the sensor are investigated.

Keywords: sensor, flux, alloying, silicon, nickel, temperature, diffusion, sensitivity, resistivity.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс производства датчиков скорости потока очень похож на производство обычных термосопротивлений. Термоанемометрический метод обладает рядом достоинств: высокая чувствительность обеспечивает возможность измерения малых и средних скоростей потоков; миниатюрные размеры чувствительного элемента обеспечивают возможность измерения быстро изменяющихся скоростей потоков; для измерений сигналов первичных преобразователей применимы простые схемы и приборы; дистанционное измерение осуществляется сравнительно просто. Известно, что внедрение различных средств измерений в производство зависит от их функциональных возможностей - от способности контроля большого числа входных воздействий различного физического характера, с последующей обработкой результатов измерений на базе микропроцессорной техники. Одним из таких микроэлектронных измерительных устройств является термоанемометрический датчик [1-4].

ГЛАВНАЯ ЧАСТЬ

Существует множество конструктивных решений измерителей скорости и объема газовых и жидкостных потоков. Например, фирма Sitrans P [2] использует для создания датчика скорости дроссельную заслонку. Авторы [2] предлагают термоанемометрический датчик, использующий зигзагообразную платиновую нить, которая перекрывает сечение трубопровода. Такое техническое решение позволяет измерять расход газа с погрешностью до $\pm 2,5\%$.

Применение термоанемометров перспективно не только для измерения скорости или расхода потока газа, но и для промежуточных преобразований различных неэлектрических параметров в электрический сигнал, в том числе при компенсационных

методах измерения в системах автоматического управления и контроля [3-4]. Под термоанемометром обычно подразумевают термоанемометрический преобразователь, включающий входной пневматический преобразователь, приемные теплочувствительные и нагревательные элементы, а также выходную электрическую цепь. Входным параметром такого преобразователя является массовый расход газа, а выходным - электрический сигнал в виде тока, сопротивления или других электрических параметров.

С целью повышения чувствительности термодатчика, снижения расхода газа и потребляемой мощности, обеспечения требуемых выходных характеристик во входном канале термоанемометрического преобразователя обычно используют различные дросселирующие или управляющие элементы, изменяющие величину скорости или направление потока газов. Термоанемометрические преобразователи с входными каналами, содержащими вышеприведенные конструктивные элементы, называются струйными термоанемометрами [3-4]. Существенным недостатком таких конструкций является низкое быстродействие их чувствительного элемента.

Целью данной работы является создание термоанемометрического датчика, принцип действия который основывается на эффекте термической диффузии и зависимости массового расхода от изменения температуры чувствительных элементов при прохождении потока, а также разработка термочувствительного элемента на основе кремния с нанокластерами атомов никеля, обладающего высокой чувствительностью и стабильностью выходных параметров.

Известно, что использование термодатчика включается в мостовую схему, питание моста обычно осуществляется источником тока или источником напряжения. При повышении температуры среды сопротивление измерительного термодатчика уменьшается, это приводит к увеличению рассеиваемой мощности на термодатчике, что в свою очередь приводит к большему разогреву термистора собственным током. Поэтому при высоких температурах и малом номинальном сопротивлении температура термистора будет отличаться от температуры среды, т.е. термистор будет измерять некоторую эффективную температуру, отличную от истинной температуры. Во избежание этих проблем необходимо использовать термисторы, на основе материалов с высоким удельным сопротивлением.

Для получения материала с высоким удельным сопротивлением мы использовали легирование кремния никелем, введение никеля в кремний в режиме нарастающей температуры позволяет получить материал со стабильными электрофизическими параметрами, как при низких (300 °C), так и при сравнительно высоких начальных температурах (600 °C), не влияя на его исходные параметры. Для получения такого материала проводили диффузию никеля в кремний режиме нарастающей температуры со скоростью 5 °C/мин в интервале температур 300 ÷ 1250°C, как приведено в работе [6, рис.1] Отличие данного способа легирования заключается в проведении диффузии при более низких начальных температурах (27°C) с последующим нарастающим повышением температуры (1000÷1250) °C с различной скоростью нагрева (3÷7 °C/мин). Таким образом, самым оптимальным материалом для создания эффективных термодатчиков является сильнокомпенсированный кремний n-типа проводимости с удельным сопротивлением $10^3 \div 10^5$ Ом·см. Параметры диффузии для получения этого материала в частном случае на основе легирования кремния никелем имеют следующие значения: температура легирования 1150 °C, давление паров 0,5 атм. Разработан способ диффузии никеля с

встраиваемыми нановключениями в кремнии, который последовательно повышается температура со скоростью 5 град/мин. и далее охлаждается со скоростью 200÷250 град/сек; Нами ранее была разработана технология изготовления термодатчиков для измерения температуры в широком интервале температур от -100 до 200 градусов Цельсия; Поперечный разрез разработанного термодатчика на основе кремния приведен в работе [6, рис. 2]. В нем каждые одноименные области получены в едином процессе.

Где базовая область 1 представляет собой высокоомный кремний толщиной 350 мкм, легированный никелем. На его обеих поверхностях сформированы низкоомные сильнолегированные области 2 n^+ -типа толщиной 2 мкм получена отжигом при 600°C В течение 30 минут химически осажденного никеля на фронтальную и тыльную поверхности пластины кремния диаметром 76 мм., металлические тонкие слои никеля 3 толщиной 3 мкм получены химическим осаждением никеля из раствора на всю поверхность пластин кремния в едином процессе служащие основой омических контактов. Для напайки выводов слои олова толщиной 50 мкм 4 получены напылением поверх слоев никеля, после чего кристалл кремния с соответствующими контактами нарезали на дискретные структуры площадью 1 мм². после чего к ним припаивали выводы 5 и заливали компаундом 6 для герметизации.

Конструкция датчика обеспечивает существенное снижение энергопотребления (по крайней мере, на 1 порядок) при оптимальной механической прочности и температурной стойкости. На рис.1. приведена термоанометрический датчик в простейшем случае они состоят из нагревательного элемента и датчика температуры. Фактически это два термосопротивления, на базе которых реализуется следующий алгоритм: При отсутствии потока температура микронагревателя остается неизменной, а при наличии потока нагреватель начинает отдавать тепло внешней среде. Количество тепла, которое отдается потоку, зависит от нескольких факторов: от начальной разности температур нагревателя и среды, от параметров трубы и собственно от скорости потока. Поскольку разность температур определяется схемой включения датчика расхода, а параметры трубы мы считаем неизменными, теплоотдача нагревательного элемента может использоваться для измерения скорости потока.

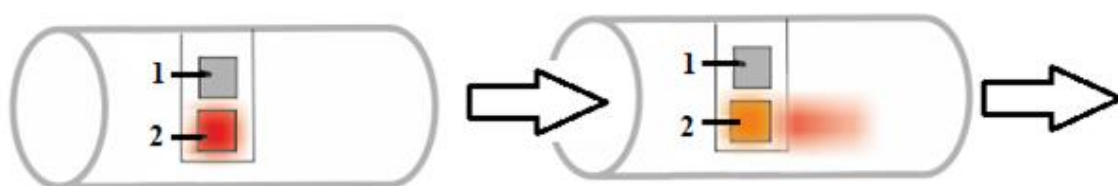


Рис.1. Термоанометр. 1-датчик температуры, 2-нагреватель

Нагреватель и датчик температуры включаются в мостовую схему, которая уравновешена в отсутствии потока и разбалансирована при изменении сопротивления нагревателя. При увеличении скорости потока нагреватель охлаждается, мост разбалансируется и сигнал разбаланса поступает на усилитель. Выходной сигнал усилителя сообщает нагревателю более высокую температуру и приводит мост обратно в равновесное состояние. Этот же сигнал используется как выходной, т.е. как функция скорости потока.[5]

В качестве исходного материала для базовой области термодатчика был использован промышленный монокристаллический кремний n -типа проводимости марки КЭФ с удельным сопротивлением $\rho=100\div135$ Ом·см. Выбор такого материала обусловлен необходимостью контролируемого задания в нем концентрации электроактивных атомов

никеля методом компенсации, так как никель в кремнии выступает в качестве акцепторной примеси. На рис.2. приведено распределение Ni по глубине кремния. Видно что профиль состоит из двух участков. Первый участок – приповерхностный, протяженностью 25 мкм, характеризуется резким падением концентрации на $2\div 3$ порядка. Второй участок – объемный, характеризуется равномерным распределением примеси в объеме образца. Причем равномерный уровень концентрации никеля в объеме не зависит от времени отжига (15 мин $\div$ 5 час). Установлено, что изменение концентрации исходных мелких примесей в пределах $10^{13} \div 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в кремнии как *n*-типа, так и *p*-типа существенно не влияет на коэффициент диффузии. Величина коэффициента диффузии слабо зависит от температуры.

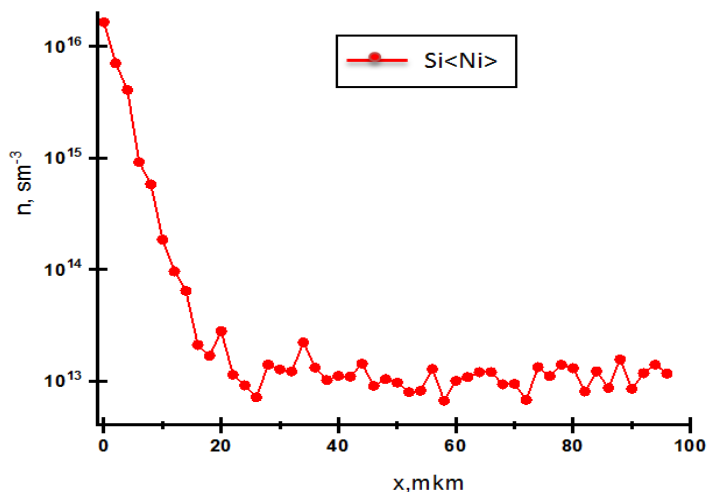


Рис.2. Распределение концентрации Ni в Si по глубине

На основании полученных результатов можно заключить, что предложенный способ легирования кремния позволил получить кластеры примесных атомов никеля, за счет более эффективного введения примесных атомов в кремний и увеличения коэффициента диффузии, а также растворимости никеля в кремнии. При дополнительных низкотемпературных обработках в интервале температур $650^{\circ}\text{C} \div 900^{\circ}\text{C}$ происходит упорядочение кластеров примесных атомов никеля в кристаллической решетке кремния. Вместе с тем, путем подбора технологических режимов удалось обеспечить самоорганизованное упорядочение кластеров никеля, которые в решетке кремния упорядочиваются с определенной «организованностью» по всему объему кристалла.

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено, что при определенных термодинамических условиях происходит самоорганизация примесных атомов в решетке полупроводника и их упорядочение. При этом четко установлена возможность управления размерами, составом и упорядочением кластеров. Эти данные свидетельствуют о возможности создания наночастиц различного типа (2D, 1D, 0D), как на поверхности, так и в объеме кристаллической решетки.

Литературы

1. Бахадирханов М.К., Илиев Х.М., Мавлонов Г.Х., Мамаджанов Х., Зикрил-лаев Н., Алипбоев Т., Бабанов Д. «Особенности электрических и фотоэлектрических свойств кремния с многозарядными кластерами примесных атомов» /международная конференция. Бишкек, 2008.-с.34-35.

2. Маннанов М.И. Электрофизические свойства кремния, легированного примесью Никеля методом диффузии // «Приборы» Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов. (Россия) №11 (269), 2022, с.37-43. [IF: 0,19]
3. King L.V. On the convection of heat from small cylinders in a stream fluid determination of the convection constants of small platinum wires with application to the hot-wire anemometry // Phil. Trans. Roy. Soc. London, A.214.-1914.-P.393-432.
4. Морозов-Ростовский Г.П. Термоанемометрические пленочные преобразователи // Измерительная техника. – 1968 - №5-С.99.
5. З.Ференец В.А.Полупроводниковые струйные термоанемометры.М.:Энергия,1972,113с.
6. Корякова О.Н., Кузьмин В.А. Термоанемометры постоянной температуры: "Измерители расхода жидкости, газа, пара", М., 1973 г., с.56-59.
7. habr.com/ru/company/efo/blog/280031/
8. Болтакс Б.И.Диффузия в полупроводниках. М.: Наука,1961.- с.421
9. М.К.Бахадирханов.,К.С.Аюпов.,Э.У.Арзукулов.,С.Н.Сражев,Т.У.Тошбоев. Термические свойства кремния с кластерами атомов никеля// Физика издание томского государственного университета. 2008.-№11,3