

06;12

Поликристаллические неселективные приемники излучения на основе пленок высшего силицида марганца

© Т.С. Камиллов, А.Ж. Хусанов, М.К. Бахадырханов, Д.К. Кобиллов

Ташкентский государственный авиационный институт, Узбекистан,
Кокандский государственный педагогический институт, Узбекистан
Ташкентский государственный политехнический университет, Узбекистан

Поступило в Редакцию 11 июня 2002 г.

При наклонном осаждении испаряемого в реакторе марганца на подложки из кремния получены преимущественно текстурированные пленки высшего силицида марганца (ВСМ) с анизотропной термоэлектродвижущей силой (термо-ЭДС). Исследованы основные параметры приемников инфракрасного излучения на основе этих пленок.

Показано, что разработанные приемники на пленках ВСМ толщиной $\sim 5 \mu\text{m}$ на подложке из кремния передают временную структуру излучения с быстродействием $\leq 10^{-6}$ s, обладают коэффициентом преобразования не менее $500 \mu\text{V/W}$, электросопротивлением $\sim 200 \Omega$.

Имеется очень мало экспериментальных данных по электрическим свойствам поликристаллических пленок высшего силицида марганца (ВСМ) $\text{MnSi}_{1.71 \div 1.75}$ [1,2]. В то же время исследование кинетических свойств этих пленок представляет не только теоретический, но и значительный практический интерес. В работах [3–5] было установлено, что массивные монокристаллические образцы ВСМ при $T \geq 300 \text{ K}$ обладают сильной анизотропией кинетических свойств, которая сохраняется и в собственной области проводимости вплоть до 1000 K . В данной работе приводятся результаты исследования возможности получения поликристаллических пленок ВСМ, обладающих анизотропией термо-ЭДС (АТЭ), осаждением паров марганца при высоких температурах на подложки из кремния. В приемниках на АТЭ [6] ЭДС измеряется в направлении, перпендикулярном возникающему под действием излучения градиенту температуры. Быстродействие таких приемников определяется характерным временем установления градиента температуры по

толщине h приемного элемента преобразователя [6]:

$$\tau = \frac{h^2}{a}, \quad (1)$$

где $a = \lambda/c\rho$ — коэффициент температуропроводности ВСМ, m^2/s ; λ — коэффициент теплопроводности, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; c — удельная теплоемкость $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; ρ — удельная плотность, kg/m^3 . Согласно [6,7], коэффициент преобразования S для монокристаллов не зависит от толщины приемного элемента:

$$S = k \frac{\Delta\alpha}{2\lambda b} \sin 2\varphi, \quad (2)$$

где k — коэффициент поглощения излучения, m^{-1} ; $\Delta\alpha = \alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp}$, α_{\parallel} — коэффициент термо-ЭДС вдоль тетрагональной оси роста кристалла (ось c), V/K ; α_{\perp} — коэффициент термо-ЭДС перпендикулярно оси c , V/K ; b — расстояние между измеряемыми контактами, m ; φ — угол между нормалью к подложке и осью c . Изготовление монокристаллических пластин толщиной $h \leq 10 \mu\text{m}$, обеспечивающих, согласно (1), $\tau \leq 10^{-5} \text{s}$, является сложной задачей и требует затраты массивного материала. Согласно [3], при осаждении металлов, обладающих анизотропией свойств в монокристаллическом состоянии, если ось молекулярного пучка испаряемого металла составляет некоторый угол θ с нормалью к подложке (угол осаждения), образуется текстура осаждаемой пленки (преимущественная ориентация одного из кристаллографических направлений в кристаллах) под углом $\varphi \neq 0$ к нормали подложки. Таким образом, метод косоугольного осаждения позволяет получить пленки с АТЭ [6,7].

Пленки силицидов марганца на кремнии получены в высоковакуумном реакторе при вакууме 10^{-5} – 10^{-6} mm Hg , который поддерживался высокоскоростной откачной системой ($450 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$).

В качестве подложки был использован кремний КДБ-10, КДБ-3000 с ориентацией (111). Поверхность образцов перед загрузкой в реактор полировалась механическим и химическим способами. Испарение дважды возогнанного марганца происходило в реакторе при $T \geq 1130^\circ\text{C}$ в течение 15–20 min . Количество испаряемого марганца бралось из расчета времени испарения, достаточно для полного осаждения на подложку. Исследуемые пленки формировались в результате реакционной

диффузии кремниевой подложки с парами марганца. В такой установке в течение одного технологического процесса можно получать пленки силицидов марганца при различной температуре подложки (T_1) и угле осаждения марганца $\theta = 0 \div 90^\circ$, что позволяло определить оптимальную температуру и угол для получения нужной фазы и структуры.

Для полученных пленок методом Ван-дер-Пау измерялись электрическое сопротивление и коэффициент Холла. Коэффициент Холла во всей рассматриваемой области температур положителен, концентрация носителей $p \cong 10^{19} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, коэффициент термо-ЭДС в зависимости от T_1 составил $\alpha = 150 \div 200 \mu\text{V/K}$ и электропроводимость $\sigma = 10 - 15 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$. Контроль за составом и структурой полученных пленок проводился с использованием рентгеновских и электронно-микроскопических методов. Фазовый и структурный анализы пленок силицидов марганца проводились снятием рентгеновских спектров отражения с помощью дифракции электронов и просвечивающего электронного микроскопа [2,8]. Исследования пленок этими методами позволили оптимизировать условия получения поликристаллических пленок в области температур подложек $950 \div 1040^\circ\text{C}$, состоящих в основном из высшего силицида марганца (ВСМ) и моносилицида марганца.

Типичная морфология поверхности пленок, исследованная в растровом электронном микроскопе, приведена на рис. 1. Как видно из морфологии поверхности пленки силицида марганца, полученного при $T_1 = 1020 \div 1040^\circ\text{C}$, размеры зерен составляют $3 - 12 \mu\text{m}$. На рис. 2 представлена микрофотография поперечного скола образцов. Область А на рис. 2 представляет собой столбчатую структуру (текстуру) из микрокристаллов ВСМ [8,9], область В — переходный слой (ПС) и область С — кремний. Причем в возникших ПС (область В), согласно [10], на границе пленки и подложки концентрация бора меньше, чем в объеме кремния в связи с сегрегацией примесей. Это позволяет уменьшить шунтирование пленок подложкой. Как видно из рис. 2, столбчатая структура имеет угол отклонения по отношению нормали подложки и это приводит к АТЭ. О возможности получения колончатых структур с различными углами отклонения по отношению нормали подложки будет сообщено отдельно.

При исследовании быстродействия τ и коэффициента преобразования S пленки помещались в экранированный корпус и ЭДС, возникающая на контактах пленки при ее облучении, подавалась на вход осцилло-

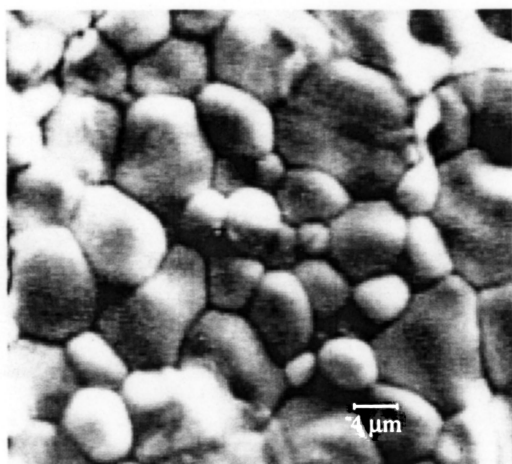


Рис. 1. Морфология поверхности пленки высшего силицида марганца.

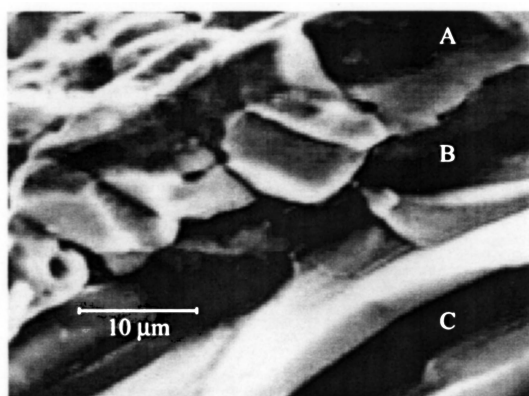


Рис. 2. Микрофотография поперечного среза образца: *A* — столбчатая структура (текстура) из микрокристаллов ВСМ, *B* — переходный аморфизированный или поликристаллический слой, *C* — кремний (подложка).

графа либо измерительного усилителя В7-8. Контакты были получены напылением из серебра или алюминия шириной 1 мм, а расстояния между контактами были 8 мм. Измерения S и τ проводились на длинах волн излучения $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ при длительностях импульса $40 \div 200 \text{ ns}$, на $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$ при модуляции излучения с частотой $10^2 \div 10^4 \text{ Hz}$ и длительностях импульса $0.1 \div 1.5 \mu\text{s}$, а также при модуляции излучения лампы накаливания. Получено, что пленки ВСМ толщиной $5 \div 7 \mu\text{m}$ на подложках из кремния имеют быстродействие $\tau \leq 10^{-6} \text{ s}$, а S не зависимо от длины волны излучения имели более $500 \mu\text{V/W}$.

На основе структурного анализа и изучения морфологии поверхности пленок, полученных при $T_1 = 1000 \div 1040^\circ\text{C}$, установлено, что они имеют сплошной колончатый мелкозернистый поликристаллический характер и состоят в основном из фаз ВСМ, имеющих преимущественную ориентацию кристаллов по отношению к нормали подложки. Эти пленки ВСМ имеют следующие преимущества:

- 1) обладают анизотропией термо-ЭДС;
- 2) обладают химической стойкостью к агрессивным средам в широком диапазоне температур, не требуют защиты поверхности;
- 3) формирование пленки ВСМ происходит в результате реакционной диффузии кремниевой подложки с парами марганца, что обуславливает высокую сцепляемость пленки с матрицей и ее стойкость к различным механическим воздействиям;
- 4) по техническим параметрам: спектральная чувствительность сохраняется вплоть до $200 \mu\text{m}$; коэффициент преобразования при длине излучения $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$ $S = 500\text{--}2000 \mu\text{V/W}$; постоянные времени (быстродействие) $\tau \leq 10^{-6} \text{ s}$; сопротивления элемента не более 200Ω .

На основе пленок ВСМ могут быть созданы неселективные приемники теплового излучения в условиях измерения быстропротекающих процессов при записи информации на запоминающие устройства, а также при передаче данных по различным каналам связи.

Список литературы

- [1] *Krontiras Ch., Pomoni K., Roilos M.* // J. Phys. D. Appl. Phys. 1988. V. 21. P. 509.
- [2] *Адашева С.И., Абдуллаев И., Вязьмина Е.А., Камилев Т.С., Клечковская В.В.* // Изв. РАН. Сер. Физ. 1993. Т. 57. № 2. С. 133–136.

- [3] *Силициды* переходных металлов четвертого периода / Гельд П.В., Сидоренко Ф.А. М.: Metallurgy, 1971. 584 с.
- [4] *Силициды* / Самсонов Г.В., Дворина Л.А., Рудь Б.М. М.: Metallurgy, 1979. 271 с.
- [5] *Andreev V.I., Granovskii A.B., Engalychev A.E., Zaitsev V.K., Ordin S.V., Yakovlev V.A.* Abstracts of Papers, VI All-Union Conf. (Moscow). 1986. P. 22.
- [6] *Zaitsev V.K.* CRC Handbook of Thermoelectrics ed DW Rowe New York-London: CRC Press, 1985. P. 299.
- [7] *Термоэлементы и термоэлектрические устройства* / Анатычук Л.И. Киев: Наук. думка, 1979. 664 с.
- [8] *Андреев В.И., Грановский А.Б., Яковлев В.А.* // Квантовая электроника. 1985. Т. 12. № 6. С. 1295-1296.
- [9] *Kamilov T.S., Sadullaev B.L., Ganiev U.Sh., Kamilov B.T.* // Semicond. Sci. Technol. 1988. V. 13. P. 496.
- [10] *Kamilov T.S., Chirva V.A., Kabilov D.K.* // Semicond. Sci. Technol. 1999. V. 14. P. 1012.