

06;12

## Поликристаллические неселективные приемники излучения на основе пленок высшего силицида марганца

© Т.С. Камиров, А.Ж. Хусанов, М.К. Бахадырханов, Д.К. Кобиров

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  $T \geq 300$  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,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;  $c$  — удельная теплоемкость  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;  $\rho$  — удельная плотность,  $\text{kg}/\text{m}^3$ . 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,  $\text{m}^{-1}$ ;  $\Delta\alpha = \alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp}$ ,  $\alpha_{\parallel}$  — коэффициент термо-ЭДС вдоль тетрагональной оси роста кристалла (ось  $c$ ),  $\text{V}/\text{K}$ ;  $\alpha_{\perp}$  — коэффициент термо-ЭДС перпендикулярно оси  $c$ ,  $\text{V}/\text{K}$ ;  $b$  — расстояние между измеряемыми контактами,  $\text{m}$ ;  $\varphi$  — 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  $\theta$  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  $10^{-5} - 10^{-6} \text{mm Hg}$ , который поддерживался высокоскоростной откачной системой ( $450 \text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

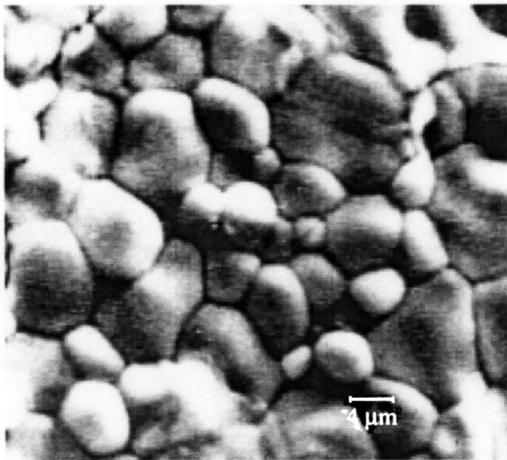
В качестве подложки был использован кремний КДБ-10, КДБ-3000 с ориентацией (111). Поверхность образцов перед загрузкой в реактор полировалась механическим и химическим способами. Испарение дважды возогнанного марганца происходило в реакторе при  $T \geq 1130^\circ\text{C}$  в течение 15–20 min. Количество 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.

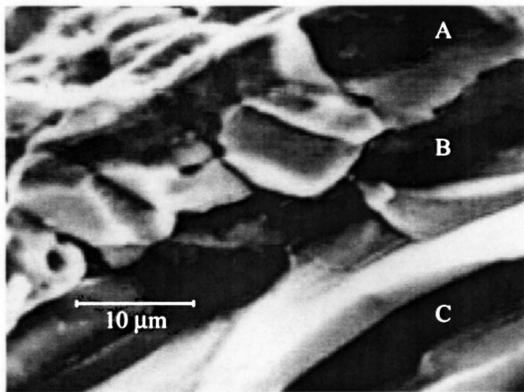
Для полученных пленок методом Ван-дер-Пау измерялись электрическое сопротивление и коэффициент Холла. Коэффициент Холла во всей рассматриваемой области температур положителен, концентрация носителей  $p \cong 10^{19} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ , коэффициент термо-ЭДС в зависимости от  $T_1$  составил  $\alpha = 150 \div 200 \mu\text{V/K}$  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  $\tau$  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 скола 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  $\tau$  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  $200 \Omega$ .

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.: Металлургия, 1971. 584 с.
- [4] *Силициды* / Самсонов Г.В., Дворина Л.А., Рудь Б.М. М.: Металлургия, 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.