ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР ТИПА $SI_{1-X}SN_X$

С.З.Зайнабидинов, Ш.Н.Усмонов, Х.М.Мадаминов, А.Ю.Бобоев

Мақолада кремний-қалай типидаги эпитаксиал қатламларини белгиланган параметрларига мос ҳолда ўстиришнинг зарурий шароитларини аниқлаш, олинган кўп қатламли тузилмаларни электрофизик ва фотоэлектрик хоссаларини ўрганиш асосида аниқланган янги физик жараёнлар мавжуд назарий тасаввурлар асосида тушунтирилган.

In clause the optimum conditions of reception epitaction of layers silicon - tin are determined and on the basis of experimental results of researches of electrophysical and photo-electric properties a lot of layer ных of structures and the comparisons them with existing modelling representations are explained the observable new phenomena.

Разработка технологии получения новых полупроводниковых материалов и исследование их свойств является актуальной задачей проблемы полупроводникового материаловедения.

С этой точки зрения весьма перспективными являются твердые растворы на основе элементарных полупроводников Si, Ge и соединений $A^{IV}B^{IV}$, $A^{III}B^{V}$, $A^{II}B^{VI}$, которые обладают специфическими и необходимыми для полупроводниковой электроники свойствами. Однако, пока еще не изучены все возможности полупроводниковых твердых растворов, как в технологическом плане, так и в аспекте изучения их физических свойств.

В настоящее время отдельные полупроводниковые твердые растворы класса $A^{IV}B^{IV}$, предсказанные теоретически, экспериментально пока не достаточно хорошо изучены. В связи с этим в данной работе приведены результаты исследований электрических и фотоэлектрических свойств соединения Si-Sn.

Для исследований были изготовлены $pSi\text{-}nSi_{1-x}Sn_x$ ($0 \le x \le 0{,}04$) структуры на основе эпитаксиального слоя твердого раствора $Si_{1-x}Sn_x$ толщиной базового *n*-слоя $W \approx 45$ мкм. На этих образцах создавались омические контакты методом вакуумного напыления — сплошные с тыльной стороны и четырехугольные с площадью 12 мм^2 из серебра со стороны эпитаксиального слоя. Были измерены темновые вольтамперные характеристики (ВАХ) этих образцов при различных температурах. На рис.1 приведена ВАХ рассматриваемых структур при комнатной температуре в прямом и обратном направлениях. Как видно из рис. 1, зависимость темнового тока от напряжений проявляет выпрямляющие свойства. Однако, ни в прямой, ни в обратной ветвях ВАХ не наблюдается насыщение тока, что свидетельствуют о низкой плотности поверхностных состояний на границе подложка-эпитаксиального слоев [1]. На рис.2. приведены вольтамперные характеристики в полулогарифмическом масштабе в прямом направлении тока, при различных температурах от 300 до 393 К.

Начальный участок ВАХ (до 0,4 V) хорошо аппроксимируется известной теорией В.И.Стафеева [2]:

$$I \approx I_0 \cdot e^{\frac{qU}{ckT}} \qquad (1)$$

где постоянная «*c*» показатель экспоненты, вычисленный из экспериментальных данных ВАХ, имеет значение ~ 5,6. Экспоненциальная зависимость тока по напряжению (1) была уточнена [3] для p-i-n-структур с показателем «*c*» в экспоненте, который имеет следующий вид:

$$c = \frac{2b + ch(W / L_p) + 1}{b + 1}, \qquad (2)$$

где $b = \mu_n / \mu_p$ – отношение подвижностей электронов и дырок.

Из ВАХ, показанных на рис.2 видно, что вслед за обычной экспоненциальной зависимостью на всех ВАХ, независимо от температуры, в диапазоне напряжений от 1 до 2,5 V появляются протяженные сублинейные участки. Эти участки ВАХ могут быть хорошо описаны в рамках теории эффекта инжекционного обеднения [4]. В случае наличия в базовой области глубоких уровней ВАХ имеет весьма специфический характер и описывается закономерностью вида:

$$U \approx U_0 \cdot e^{JaW}, \qquad (3)$$

где $a = 1/(2kT\mu_n N)$ - параметр, зависящий от подвижности основных носителей μ_n и концентрации глубоких центров *N*, *J* – плотность тока.

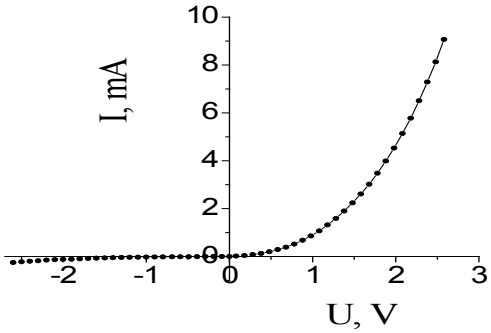

Рис.1. Темновая вольтамперная характеристика pSi-n$Si_{1-x}Sn_x$ ($0 \le x \le 0{,}04$) структур при комнатной температуре

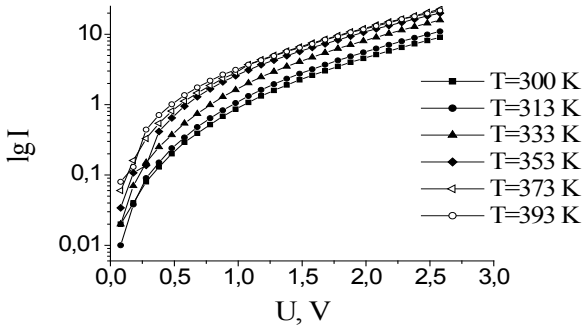

Рис.2 Темновые вольтамперные характеристики pSi-n$Si_{1-x}Sn_x$ ($0 \le x \le 0{,}04$) структур в прямом направлении при различных температурах в полулогарифмическом масштабе.

Как следует из теории [2], такое поведение ВАХ возможно только при встречных направлениях амбиполярной диффузии неравновесных носителей и их амбиполярного дрейфа, который в этом случае определяется инжекционной модуляцией заряда глубоких примесей. Используя выражение (3), можно определить параметр *a* непосредственно из экспериментальных данных ВАХ на основе формулы:

$$a = \frac{S \cdot \ln(U / U_0)}{(I - I_0) \cdot W}, \qquad (4)$$

где *S* – площадь образца, *I* – сила тока. Значения параметра *a*, найденные из ВАХ при различных температурах, приведены в таблице.

Таблица

T, К	300	313	333	353	373	393	413
a, см/А	$6{,}58 \cdot 10^3$	$5{,}49 \cdot 10^3$	$3{,}79 \cdot 10^3$	$3{,}22 \cdot 10^3$	$2{,}82 \cdot 10^3$	$3{,}02 \cdot 10^3$	$3{,}04 \cdot 10^3$

Из таблицы видно, что с увеличением температуры значение параметра *a* в интервале 300-373К уменьшается и дальнейшее увеличение температуры приводит к стабилизации его значений. Такое поведение *a* свидетельствуют о появлении дополнительного количества носителей тока, что подтверждает донорный характер примесных атомов Sn в Si [5], т.е. при увеличении температуры происходит модуляция заряда глубокого примесного уровня Sn.

Для измерения фоточувствительности образцов типа pSi-n$(Si)_{1-x}(Sn)_x$ ($0 \le x \le 0{,}04$) к структурам создавались омические контакты. Эти контакты изготавливались путем нанесения сплава индий-галлий (In(3%)+Ga(97%)) как для *p*-Si подложки, так для эпитаксиального слоя n-Si(Sn).

Из экспериментальной зависимости спектральной фоточувствительности контрольной pSi–nSi и выращенных pSi–n$Si_{1-x}Sn_x$ ($0 \le x \le 0{,}4$) структур, приведенных на рис.3 видно, что фоточувствительность pSi–n$Si_{1-x}Sn_x$ структуры (кривая 1) заметно сдвинута в длинноволновую сторону, по сравнению с контрольным кремниевым фотоэлементом (кривая 2), а так же наблюдаемый сравнительно резкий спад фоточувствительности

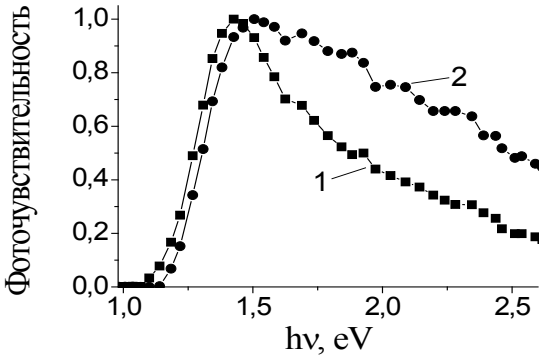

Рис.3. Спектральные зависимости фоточувствительности pSi–n$Si_{1-x}Sn_x$ ($0 \le x \le 0{,}4$) (1) и pSi–nSi (2) структур при комнатной температуре.

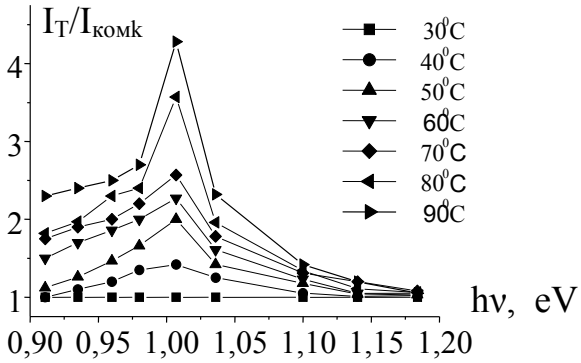

Рис.4. Спектральные зависимости относительного прироста фототока $I_ф(T)/I_ф(T_{ком})$ pSi–n$Si_{1-x}Sn_x$ ($0 \le x \le 0{,}4$) при различных температурах.

pSi – n$Si_{1-x}Sn_x$ структуры в коротковолновой области, свидетельствуют о наличии в структурах эпитаксиальной пленки примесных атомов Sn, которые обеспечивают глубину залегания p-n перехода равной ~45 мкм.

На рис.4. показаны спектральные зависимости относительного прироста фототока при различных значениях температуры измерений.

Как видно, максимальный прирост фототока соответствует энергии квантов $E_{h\nu} \approx 1{,}0$ эВ, тогда как для остальных значений энергий квантов прирост фототока не значителен. Повышение прироста фототока с ростом температуры свидетельствует о дополнительной тепловой генерации неравновесных электронов примесных уровней Sn в зону проводимости. Генерация дырок при освещении световыми квантами с энергией $E_{h\nu} \approx 1{,}0$ эВ осуществляется за счет перехода электронов с валентной зоны на примесный уровень Sn. Таким образом, можно предположить, что примесный уровень, обусловленный оловом твердого раствора замещения $Si_{1-x}Sn_x$ находится на $E_{i,Sn}$-0,12 эВ ниже дна зоны проводимости. Максимальный прирост фототока с участием примесей при энергиях квантов меньшей ширины запрещенной зоны кремния может быть достигнут тогда, когда скорость тепловой генерации электронов приравняется со скоростью фотогенерации дырок, что подтверждает наши экспериментальные данные.

Литература:

1. Бахадирханов М.К., Ортиков И.Б. Малый энциклопедический справочник по полупроводниковым материалам.- Т., 2006

2. Стафеев В.И. ЖТФ, 28(9), 1631 (1958).

3. Адирович Э.И., Карагеоргий-Алкалаев П.М., Лейдерман А.Ю. *Токи двойной инжекции в полупроводниках*.-М.: Советское радио, 1978

4. A.Yu.Leiderman, P.M.Karageorgy-Alkalaev. Sol. St. Commun., 27, 339 (1976).

5. С.З.Зайнабидинов Физические основы образования глубоких уровней в кремнии.-Т.: Фан, 1984

Андижон давлат университети,
2009 йил 6 майда қабул қилинган