

ни поглощения в образце № 1. Так, если вектор напряженности электромагнитной волны перпендикулярен оси волокна, то при изменении рабочей частоты просвечивающего излучения (210—290 ГГц) коэффициент пропускания уменьшается в пять раз, а если он направлен вдоль волокна, то поглощение практически отсутствует во всем частотном диапазоне (см. рис. 1, группы точек 1, 2).

При измерениях с образцом № 2 также получили распределение коэффициента пропускания по площади поперечного сечения образца с неоднородностями 10—15 % в исходном образце и до 80 % с искусственными неоднородностями по толщине образца в виде вертикальных и горизонтальных сквозных отверстий диаметрами 3 и 5 мм (см. рис. 2, 3). Рабочая частота измерений 0,30 ТГц. На восстановленных 3D-изображениях отчетливо видны перепады прозрачности образца.

Спектральные зависимости коэффициентов пропускания обоих образцов представлены на рис. 4, можно отметить влияние внутренней структуры образцов на коэффициенты поглощения. Экспоненциальная зависимость коэффициента пропускания от частоты изменяется примерно на два порядка и зависит от ориентации волокон относительно поля для образца № 1. Масштаб изменения соблюдался во всем исследуемом диапазоне частот (208—378 ГГц). В образце № 2 экспоненциальная зависимость коэффициента пропускания от частоты более пологая, но его значения примерно в тысячу раз больше, что можно объяснить большей толщиной образца. Полосы или резонансы поглощения не наблюдались ни в одном из образцов.

Таким образом, проведенные измерения коэффициентов пропускания в субтерагерцовом диапазоне частот электромагнитных волн показали возможность их использования для изучения структурных параметров и дефектоскопии композитных материалов наряду с уже широко известными акустическими, оптическими, рентгеноструктурными измерениями, а также техникой магнитной, электрической и микроволновой диагностики.

Литература

1. Митягин Ю. А., Мурзин В. Н., Савинов С. А., Измайлов Г. Н. Метод измерения интенсивности субТГц и ТГц излучения с использованием резонансно-туннельных диодов // Состояние и проблемы измерений: Сб. материалов XII Всерос. науч.-техн. конф.: М.: МГТУ им. Баумана, 2013. С. 54—57.
2. Измайлов Г. Н., Митягин Ю. А., Мурзин В. Н., Савинов С. А., Шмелев С. С., Апостолова Е. М. Метод измерений мощности субтерагерцового и терагерцового излучений с использованием резонансно-туннельных диодов // Измерительная техника. 2013. № 8. С. 16—18; Izmailov G. N., Mityagin Yu. A., Murzin V. N., Savinov S. A., Shmelev S. S., Apostolova E. M. A Method of Measuring the Power of Sub-Terahertz and Terahertz Radiation Using Resonant Tunneling Diodes // Measurement Techniques. 2013. V. 56. N. 8. P. 856—860.

Дата принятия 01.07.2014 г.

621.382

Шум типа $1/F^\alpha$ в фоточувствительных элементах на основе сульфида свинца

Б. Н. МИРОШНИКОВ¹, И. Н. МИРОШНИКОВА¹, Х. С. Х. МОХАМЕД^{1, 2},
А. И. ПОПОВ¹

¹ Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия,
e-mail: MiroshnikovaIN@mpei.ru
² Fayoum University, al Fayoum, Egypt

Проанализированы результаты исследований спектральной плотности мощности шума и просвечивающей электронной микроскопии фоточувствительных структур на основе сульфида свинца с точки зрения выявления возможных механизмов шумообразования.

Ключевые слова: фоточувствительные структуры, сульфид свинца, спектральная плотность мощности шума, просвечивающая электронная микроскопия.

The results of studies of noise power spectral density and transmission electron microscopy of PbS based photosensitive structures have been analyzed in view of identifying the possible noise formation mechanisms.

Key words: photosensitive structures, lead sulphide, noise power spectral density, transmission electron microscopy.

Из всех типов фотоприемников (ФП) инфракрасного излучения только фоторезисторы на основе сульфида свинца PbS имеют много различных методов и технологий изготовления. Это обусловлено, с одной стороны, тем, что первые фоторезисторы были изготовлены до разработки теории фотопроводимости в монокристаллах, а с другой, неудачами разработчиков ФП на монокристаллических структурах.

Высокий коэффициент поглощения (10^4 см^{-1}) [1] предполагал использование тонких (1—2 мкм) слоев, а получение монокристаллических слоев эпитаксиальным методом удавалось лишь при высоких концентрациях основных носителей ($p \geq 10^{17} \text{ см}^{-3}$), что приводило к сокращению времени жизни носителей. Часто такие пленки считались нефоточувствительными, так как время жизни носителей становилось

меньше времени их пролета до контактов. Альтернативой оказались поликристаллические пленки, пригодные для формирования ФП. Методы получения этих пленок условно разделяют на химические, основанные на реакциях между уксуснокислым свинцом $Pb(CH_3COO)_2$, тиомочевинной $(NH_2)_2CS$, едким натром и другими окислительно-восстановительными добавками, и физические, в которых первичный слой PbS наносится в вакууме термическим напылением. Затем в большинстве используемых технологий слой отжигается в муфельной печи, при этом в пленку внедряется кислород (являющийся акцепторной примесью). В отдельных случаях используют перенапыление слоев в вакууме с одной стенки фотоприемника на другую, в результате слой захватывает ограниченное число молекул кислорода, необходимых для увеличения времени жизни дырок.

Успехи в разработке ФП на основе поликристаллических пленок, работающих при частоте 400—1000 Гц, позволили решить насущные проблемы. При переходе от монокристаллических слоев к поликристаллическим подвижность носителей падает на два порядка (с ростом темнового сопротивления), а во всем частотном диапазоне преобладает шум типа $1/F^\alpha$ [2].

В последние годы возобновился интерес к PbS, как к основному материалу для ФП, работающих в спектральном диапазоне 1—3 мкм. С развитием нанотехнологий этот материал рассматривается как элемент tandemных солнечных батарей [3, 4] либо как наноструктурированная добавка к широкозонным [5] или органическим [6] полупроводникам. Естественно, что в случае использования наноструктур свойства материала изменяются: из-за флуктуирующих спектральных зависимостей коэффициента поглощения ширина запрещенной зоны материала может увеличиться от 0,4 до 1,5 эВ [7].

На протяжении последних десяти лет в НИУ МЭИ исследовали фоторезисторы (более 300 шт.) на основе PbS, полученные химическим осаждением из водных растворов $(NH_2)_2CS$ и $Pb(CH_3COO)_2$ с различными добавками оксидантов и восстановителей, физическим осаждением в вакууме с последующим отжигом в различных газовых смесях, но, в первую очередь, на воздухе. Однократное химическое осаждение позволило получить пленки толщиной до 0,5 мкм (в зависимости от времени осаждения) на кварцевых пластинах $2,5 \times 2,5$ см, а затем из них изготавливали различные фоточувствительные структуры размерами от 30×30 мкм до 1×1 мм. Физическое осаждение применяли для формирования более толстых слоев (до 1,5 мкм) и проводили его обычно на фотостекло. После химического осаждения фоточувствительные структуры (ФЧС) имели проводимость p -типа, физически осажденные — n -типа, удельное сопротивление структур составляло несколько килоом на метр. Химические слои подсушивали при температуре до 370 К, а физические отжигали в муфельной печи в потоке воздуха (или других газов) при 820—870 К. Ведущим принципом при подборе температурно-временных режимов было стремление получить ФЧС с наименьшим удельным сопротивлением 50—100 кОм·м.

Омические контакты формировали напылением золота с подслоем хрома, также припаивали или приваривали золотые контактные выводы.

Параметры и характеристики вновь изготовленных приборов сравнивали с приборами, находящимися при длительном (до 50 лет) хранении, поэтому результаты можно счи-

тать достоверными.

Исследования частотных зависимостей сигнала ФЧС и прямое измерение релаксационных кривых показали разницу между приборами, изготовленными различными методами. При физическом осаждении без отжига структуры наблюдалось очень малое время жизни носителей — порядка 10 мкс и менее, такие структуры обычно имели напряжение шума, равное напряжению сигнала. После отжига время жизни возрастало с 50 до 250 мкс, сигнал увеличивался, удельная обнаружительная способность, пропорциональная отношению сигнал—шум, возрастала. У химически осажденных структур после слабого нагрева время жизни составляло 150—450 мкс, соответственно возрастали сигнал (чувствительность приборов) и обнаружительная способность.

В последние годы возрос интерес к структурам пониженной размерности, пригодным для изготовления многоэлементных матриц «смотрящего типа», сформированным непосредственно на мультиплексорах — структурах на основе Si—SiO₂. Проблемы, связанные с шумами таких ФП, пока не рассматриваются, однако не следует забывать, что частотная зависимость спектральной плотности мощности шума (СПМШ) ФЧС определяет частотную зависимость его основного параметра — удельной обнаружительной способности

$$D^* = \frac{U_c(U_{cm}, F) \sqrt{A_{эф} \Delta F}}{\Phi U_{ш}(U_{cm}, F)} = \frac{I_c(U_{cm}, F) \sqrt{A_{эф} \Delta F}}{\Phi I_{ш}(U_{cm}, F)} = \frac{S_{U(I)}(U_{cm}, F) \sqrt{A_{эф} \Delta F}}{I_{ш}(U_{ш})(U_{cm}, F)},$$

где $U_c(I_c)$, $U_{ш}(I_{ш})$ — средние квадратические значения (СКЗ) напряжения (тока) сигнала и шума, соответственно; U_{cm} — напряжение смещения; $A_{эф}$ — эффективная площадь ФП; F — частота модуляции; ΔF — эквивалентная полоса пропускания усилительного устройства; Φ — СКЗ потока излучения от абсолютно черного тела, причем чувствительность по напряжению (току);

$$S_{U(I)} = U_c / \Phi = I_c / \Phi \sim \Delta \sigma / \sigma_0; \quad (1)$$

$\Delta \sigma$ — фотопроводимость; σ_0 — темновая проводимость ФЧС.

Известно, что СПМШ имеет несколько составляющих: $1/F^\alpha$, генерационно-рекомбинационную, дробовую и тепловую (или Джонсона—Найквиста) [8]:

$$P(F) = \frac{\overline{I_{ш}^2}}{\Delta F} = \frac{CI_{cm}^2}{F^\alpha V} + \frac{4I_{cm}^2 \overline{\Delta p^2}}{p^2 V} \frac{\tau_{эф}}{1 + (2\pi F)^2 \tau_{эф}^2} + 2q \sum_i I_i + \frac{4kT_p}{R}, \quad (2)$$

где C — размерный коэффициент пропорциональности; I_{cm} — ток смещения; V — объем ФЧС; q — заряд электрона; k — постоянная Больцмана; T_p , R — рабочая температура и электрическое сопротивление ФЧС; p , $\overline{\Delta p^2}$ — концентрация дырок и среднее значение концентрации избыточных дырок в фоторезисторе; $\tau_{эф}$ — эффективное время жизни носителей.

Белый, не зависящий от частоты, шум ФЧС, в основном, определяется генерационно-рекомбинационной составляющей, у фотодиодов — дробовой. Таким образом, шумы $1/F^\alpha$ и генерационно-рекомбинационный пропорциональны I_{cm}^2 , дробовой шум пропорционален, а тепловой шум не зависит от I_{cm} .

Несмотря на то, что шум типа $1/F^\alpha$ изучают более 80 лет, его общей теории не существует. Однако принято, что его проявление обусловлено потенциальными барьерами на контактах, поверхности, p – n -переходе и др. Следовательно, снижение объема структуры приводит к возрастанию роли этого шума.

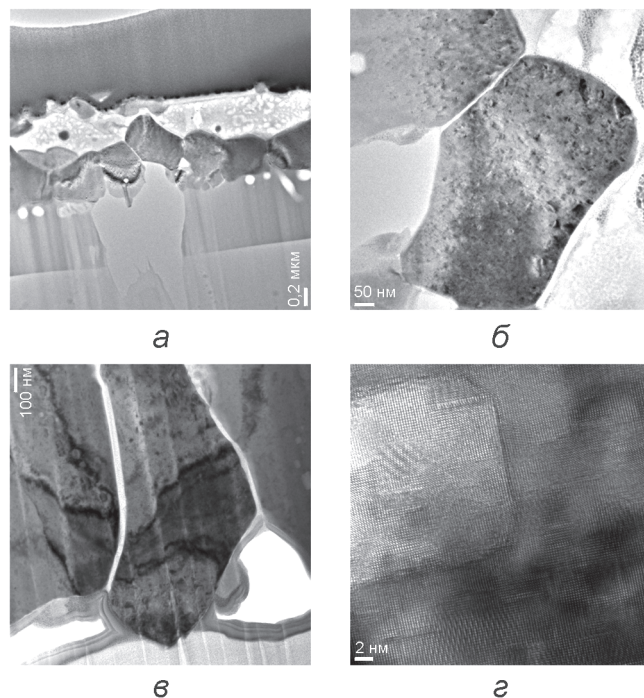
Методика проводимых исследований СПМШ изложена в [9], результаты измерений ФЧС на основе PbS представлены в [10], где показано, что шум типа $1/F^\alpha$ характерен для элементов, полученных как химическим, так и физическим методом. Естественно, что указанный шум должен быть обусловлен процессами с широким набором постоянных времени. Такими процессами, например, для ФП на основе монокристаллического полупроводника могут быть захват и освобождение носителей диэлектриком, защищающим их поверхность.

Чтобы установить возможные причины этого шума в фоторезисторах на основе PbS, приходилось вскрывать исследуемые приборы после проведенных измерений фотоэлектрических параметров и исследовать структуру ФЧС методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (Helios NanoLab 450 и 600). На рисунке представлены результаты исследований сечения типичных ФЧС, полученные с помощью просвечивающей электронной микроскопии. На фотографиях светлые тона относятся к легким элементам (в первую очередь кислороду), темный цвет показывает атомы больших номеров (серы, свинца).

На поликристаллической пленке (см. рисунок, а) с размером зерен до 1 мкм расположен слой, содержащий кислород, который образуется при отжиге структуры, в нижних слоях находятся тяжелые элементы — сера и свинец. По тонким, до 10 нм, трещинам между кристаллитами эти кислородсодержащие соединения проникают вглубь пленки (см. рисунок, б). Кристаллиты имеют достаточно неупорядоченную структуру, в которой возможно образование уровней захвата носителей по всей ширине запрещенной зоны (аналогично образованию поверхностных уровней).

Химически выращенные структуры более упорядочены внутри кристаллитов (см. рисунок, в), но кислородсодержащие прослойки между ними толще и наблюдаются области их накопления на границе с подложкой (см. рисунок, г).

Обсуждение результатов. Теория образования ФЧС при химическом осаждении [11] была создана в начале 70-х гг. в Уральском политехническом институте [12]. Механизмы фотопроводимости в ФЧС на основе PbS широко обсуждались в литературе, и в настоящее время общепринятой является теория, описывающая характеристики поликристаллических слоев PbS не только качественно, но и количественно [13]. Предполагается, что при высокотемпературном отжиге физических слоев на поверхности кристаллитов (в различных соотношениях) образуются такие кислородсодержащие фазы, как PbO , PbO_2 , $PbSO_4$, $PbO \cdot PbSO_4$. Эти же соединения (возможно, и некоторые другие) присутствуют и в химических слоях. Кислород, входящий в химические соединения, является сильносвязанным. Однако присутствует также и слабосвязанный кислород — либо в виде примесных атомов в междокристаллитных прослойках, либо в виде атомов, адсорбированных на поверхности кристаллитов. Считается, что слабосвязанный кислород обуславливает появление поверхностных акцепторных состояний и должен удаляться при нагреве.



Микрофотографии сечения физически (а, б) и химически (в, г) осажденных фоточувствительных слоев при различном увеличении

В результате описанных выше процессов после отжига поликристаллических пленок в прослойках между кристаллитами n -типа и на их поверхности появляются акцепторные состояния, которые захватывают электроны из объема кристаллитов. Поэтому у поверхности возникают инверсионные слои p -типа, при этом должно наблюдаться размытие спектра акцепторных состояний в энергетическом интервале больше величины kT_p .

В теории [13] особое место уделено инверсионным p -каналам вдоль поверхностей кристаллитов, междокристаллические же прослойки окисной фазы считают туннельно прозрачными для дырок (но непреодолимыми для электронов), а их сопротивление — малым по сравнению с сопротивлением инверсионных каналов. Электроны (в том числе фотоэлектроны) запираются в кристаллитах, тогда как фотодырки увеличивают проводимость инверсионных слоев. Фотоэлектроны и фотодырки обеспечивают чувствительность ФЧС через $\Delta\sigma$ (см. (1)). Пожалуй, единственный недостаток теории в том, что наличие каналов не доказано.

Анализ реальных структур (см. рисунок) предполагает несколько иную картину. В химических слоях на начальном этапе формирования пленки на подложку осаждаются зародыши (центры кристаллизации) на основе $Pb(OH)_2$, затем по мере роста пленки эти зародыши укрупняются, начинает преобладать структура PbS, а кислородсодержащие примеси (КСП) оттесняются на края кристаллитов, частично замуровываясь у границы с подложкой. Размер кристаллитов и их форма зависят от добавок окислителей и восстановителей (гидразингидратного, сульфокислоты и др.). Кислород, входящий в КСП, по-прежнему обеспечивает свободу передвижения дыркам с концентрацией p_1 , которая при освещении увеличивает фотопроводимость $\Delta\sigma$. Время жизни таких дырок должно быть больше времени, необходимого для достижения ими контактов. Оценку p_1 можно провести исхо-

для из концентрации электронов, захваченных при хемосорбции кислорода O_2^- , либо радикала OH^- следующим образом. Как известно, хемосорбция ограничивается положением уровня Ферми в запрещенной зоне материала. Ограничение наступает при концентрации кислородсодержащих ионов 10^{12} — 10^{13} молекул на 1 см^{-2} и соответствует максимальному покрытию кислородом поверхности кристаллитов в случае химически полученных ФЧС и площади фоточувствительного слоя при физическом осаждении. Это значение дает нижний предел концентрации. Для расчета верхнего предела необходимо оценить толщину слоев КСП.

Ограниченность числа барьеров в пленке должна вызывать отдельные пики шумов, а не непрерывный шум типа $1/F^\alpha$. Именно такие КСП (связанный кислород) разделяют носители на границе крупных кристаллитов, создавая изменения в волновых функциях электронов и дырок. Это приводит к разъединению носителей заряда: электроны накапливаются в кристаллитах (в минимуме зоны проводимости), а дырки выбрасываются электрическим полем в прослойки между кристаллитами (в максимум валентной зоны). Теперь разность в энергиях областей накопления электронов и дырок (эффективная ширина запрещенной зоны $E_{эф}$) не равна ширине запрещенной зоны E для PbS. Такое разделение носителей увеличивает их время жизни по сравнению с объемным временем жизни (этот факт был зафиксирован авторами):

$$\tau = \tau_0 \exp((E - E_{эф}) / (kT)),$$

где τ_0 — время жизни носителей в однородном полупроводнике.

В химических ФЧС толщина прослоек между кристаллитами определяется составом реагентов и искусством операторов. Слои могут быть недоокисленными и переокисленными, с точки зрения оптимального сопротивления образцов и времени жизни носителей, определяющего чувствительность и обнаружительную способность ФЧС. В физических слоях ситуация осложняется.

Согласно [14] на поверхности ФЧС (светлая область на рисунке, а) находится пленка ланаркита $PbO \cdot PbSO_4$, которая препятствует прохождению несвязанного кислорода вглубь пленки. В нижних слоях возможно нахождение пленки PbS n -типа, не содержащей КСП. Толщина пленки ланаркита формируется при подборе параметров отжига: время, температуру и атмосферу отжига выбирают для оптимизации сопротивления ФП при требуемой рабочей температуре ФЧС. Если эта пленка не имеет дефектов (трещин), при дальнейших технологических операциях КСП не поступают в ФЧС, поэтому носители не разделяются и время их жизни в физических фоточувствительных элементах много меньше, чем в химических ФП. При образовании трещин в пленке ланаркита КСП попадает вглубь ФЧС, при этом электроны захватываются кислородом (акцептором), сопротивление пленки падает.

Кроме концентрации дырок p_1 необходимо учитывать концентрацию p_2 , которая должна возникать из-за захвата электронов на состояния, образованные структурным несовершенством внутри кристаллитов. Значение p_2 можно оценить по коэффициенту C в (2) (величина $1/C$ имеет размерность концентрации).

Итак, подавляющему большинству ФЧС органически присущ шум типа $1/F^\alpha$, где $\alpha \approx 1$. Однако в [8] приведены спектры шума химически осажденных слоев с минимальным шумом во всем спектральном диапазоне, когда спектральная плотность мощности генерационно-рекомбинационного шума возрастала в зависимости от смещения примерно на порядок при увеличении напряжения смещения в три раза, что соответствовало (2).

По графику зависимости СПМШ от частоты можно оценить p_2 для двух значений спектральной плотности мощности P_1, P_2 на двух частотах F_1, F_2 :

$$P_1 - P_2 = I_{см}^2 (C/V) ((F_2 - F_1) / (F_2 F_1)).$$

Отсюда, зная объем ФЧС, можно определить значение p_2 . Расчеты для типичных структур дают $p_2 = 10^{18} \dots 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Совокупность $p = p_1 + p_2$ определяет темновую проводимость σ_0 в (1) и снижает чувствительность ФЧС.

Фактически (см. рисунок, б, в) внутри кристаллитов присутствует дефектность объемной структуры, сопоставимая с дефектностью поверхности. Эти дефекты могут захватывать электроны и создавать энергетические состояния по всей запрещенной зоне, тем самым формируя шум типа $1/F^\alpha$. В химически осажденных слоях степень упорядочения несколько выше, благодаря этому в небольшом частотном диапазоне 100—1000 Гц может наблюдаться преобладание генерационно-рекомбинационного шума. В физически осажденных ФЧС этот шум подавлен во всем частотном диапазоне. Однако в физических слоях электроны, захваченные на состояния внутри кристаллов, облегчают процесс рекомбинации, следовательно, частотные свойства физических ФЧС лучше.

Вывод. Приведенные результаты исследований позволяют объяснить некоторые особенности параметров приборов, изготовленных физическим и химическим осаждением ФЧС. Сложная структура поликристаллитов фоточувствительных элементов определяет шум типа $1/F^\alpha$, поэтому он не является избыточным для ФЧС, а присущ им органически. Темновая проводимость ФЧС зависит от общей концентрации дырок p , а время релаксации фотопроводимости пропорционально p_2 . Это позволяет разработчикам фотоприемников оптимизировать технологию ФЧС, т. е. если необходимо быстрое действие, то надо использовать физические слои. Более высокую чувствительность с более низкими частотными свойствами обеспечат химические слои.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-07-00706а).

Л и т е р а т у р а

1. Scanlon W. W. Recent advances in optical and electronic properties of PbS, PbSe, PbTe and their alloys // J. Phys. Chem. Solids. 1959. V. 8. N. 2. P. 423—428.
2. Хадсон Р. Инфракрасные системы / Пер. с англ., под ред. Н. В. Васильченко. М.: Мир, 1972.
3. Nair P. K. e. a. Prospects of chemically deposited metal chalcogenide thin films for solar control applications // J. Appl. Phys. 1989. V. 22. P. 829—832.
4. Zogg H. e. a. Photovoltaic IV-VI on Si infrared sensor arrays for thermal imaging // Opt. Eng. 1995. V. 34. P. 1964—1969.

5. Elabd H., Stecki A. J. Structural and compositional properties of the PbS-Si heterojunctions // J. Electrochem. Soc. 1990. V. 137. P. 2697—2699.

6. Watt A. e. a. Carrier transport in PbS nanocrystal conducting polymer composites // J. Appl. Phys. 2005. V. 87. P. 1—3.

7. Садовников С. И., Кожевникова Н. С., Гусев А. И. Оптические свойства наноструктурированных пленок сульфида свинца с кубической структурой типа D03 // Физика и техника полупроводников. 2011. Т. 45. Вып. 12. С. 1621—1632.

8. Мирошникова И. Н. и др. Спектральные и шумовые характеристики фоторезисторов на основе сульфида свинца // Вестник МЭИ. 2010. № 4. С. 57—62.

9. Соколик С. А., Гуляев А. М., Мирошникова И. Н. Совершенствование установки для исследования низкочастотного шума полупроводниковых приборов и структур // Измерительная техника. 1997. № 1. С. 61—65; Sokolik S. A., Gulyaev A. M., Miroshnikova I. N. Improved setup for studying the low-frequency noise in semiconductor devices and structures // Measurement Techniques. 1997. V. 40. N. 1. P. 85—90.

10. Мирошникова И. Н., Комиссаров А. Л., Мирошников Б. Н. Шум полупроводниковых фоторезисторов на основе PbS: прошлое, настоящее и будущее // Измерительная техника. 2010. № 6. С. 18—21; Miroshnikova I. N., Komissarov A. L., Miroshnikov B. N. Noise of PbS-based semiconductor photoresistors. Measurement Techniques. 2010. V. 53. N. 6. P. 620—625.

11. Китаев Г. А. и др. Термодинамическое обоснование условий осаждения сульфидов металлов тиомочевинной из водных растворов // Сб. Кинетика и механизм образования твердой фазы. Свердловск, 1968. С. 113—117.

12. Буткевич В. Г., Глобус Е. Р., Залевская Л. Н. Управление характеристиками химически осажденных пленок сернистого свинца // Прикладная физика. 1999. № 2. С. 52—56.

13. Неустроев Л. Н., Осипов В. В. Физические процессы в фоточувствительных поликристаллических пленках халькогенидов свинца // Микроэлектроника. 1988. Т. 17. № 5. С. 399—416.

14. Верцнер В. Н., Кельнер Н. А., Соловьев А. М. Образование окислов в сернистосвинцовых слоях и фотосопротивлениях // Кристаллография. 1957. Т. 2. Вып. 4. С. 497—502.

Дата принятия 14.10.2014 г.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

621.91

Оценка неопределенности при решении задач многопараметрической диагностики

М. П. КОЗОЧКИН, А. Н. ПОРВАТОВ

Московский государственный технический университет «СТАНКИН», Москва, Россия, e-mail: porvatov_artur@mail.ru

Приведены методика проведения предварительного анализа внедрения многопараметрической диагностики и примеры ее применения. Показаны причины, влияющие на точность определения текущего значения диагностируемого параметра.

Ключевые слова: многопараметрическая диагностика, неопределенность оценки, износ инструмента, надежность технологических систем.

The procedure and examples of preliminary analysis of possibilities of multi-parameter diagnostics application is presented. The reason affecting the accuracy of determination of diagnosed parameter current value — are shown.

Key words: multi-parameter diagnostics, uncertainty assessment, tool wear, technological systems reliability.

Важной задачей систем диагностики (СД), которыми оснащены автоматизированные технологические комплексы, является постоянный мониторинг состояния режущих инструментов [1—5]. В основе всех СД лежит зависимость параметров контролируемых сигналов от состояния режущих кромок. В качестве информации для СД используют функциональные параметры (силовые, вибрационные, температурные и др.) процесса резания, зависящие не только от состояния режущих кромок, но и от прочих меняющихся условий [4, 6—10]. При изготовлении первой детали значения конт-

ролируемых параметров на всех фазах обработки заносятся в память СД (происходит так называемое предварительное обучение СД), однако это не дает полного решения проблемы, поскольку часть факторов имеет случайный характер [10—12]. К таким факторам относятся случайные вариации припуска заготовки и твердости ее поверхностного слоя, а также форма площадки износа режущего инструмента, которую невозможно учесть в цифрах, характеризующих размер износа, например, по задней грани. Переменная твердость имеет место даже в одной заготовке и определяется предшествующей технологией изготовления.