

**ИНФОРМАЦИЯ**  
**О работах, проведенных в рамках выполненной программы**  
**«Создание эталонов единицы длины нового поколения в**  
**диапазоне  $10^{-9} \div 10^{-4}$  м на 2013-2015 годы»**

**ОАО «НИЦПВ»**

В ходе реализации Программы «Создание эталонов единицы длины нового поколения в диапазоне  $10^{-9} \div 10^{-4}$  м на 2013 – 2015 годы» (далее – Программы) в рамках темы «Создание нового поколения мер на основе кристаллических рельефных наноструктур для передачи единицы длины средствам измерений в нанометровом диапазоне» Научно-исследовательским центром по изучению свойств поверхности и вакуума (далее – НИЦПВ) за отчетный период выполнено следующее.

Изготовлены опытные партии модифицированных кристаллических рельефных наноструктур МК–РЭМ-1.0 – мер для определения характеристик растровых электронных микроскопов (РЭМ), имеющих расширенный диапазон по значению периода структур для удовлетворения требований ГОСТ Р 8.763-2011 «Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от  $1 \times 10^{-9}$  до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм» Меры имеют следующие метрологические характеристики:

Параметры		Погрешность аттестации
Ширина рельефных элементов	40-700 нм	$\pm 2$ нм
Шаг структуры	500-3000 нм	$\pm 2$ нм
	6-4000 мкм	$\pm 0,1$ %
Высота элементов рельефа	50-800 нм	$\pm 2$ нм

Разработана новая концепция прослеживаемости измерений к ГПЭ метра при аттестации данных мер МК–РЭМ-1.0.

В настоящее время завершаются испытания мер МК–РЭМ-1.0 в целях утверждения типа средств измерений.

В 2014 году разработана новая конструкция мер для калибровки и поверки просвечивающих электронных микроскопов, имеющая целью улучшение эксплуатационных характеристик (повышение надежности и срока службы мер) при сохранении метрологических характеристик мер, указанных в таблице

Параметры		Погрешность аттестации
Межплоскостное расстояние $d_{111}$	0,3136 нм	$\pm 0,0001$ нм
Ширина рельефных элементов	60-900 нм	$\pm 2$ нм
Шаг структуры	400-3000 нм	$\pm 2$ нм
Толщина структуры	20-50 нм	не аттестуется
Слои-маркеры	ниобий, палладий, титан, алюминий	
Ширина слоев-маркеров	50-200 нм	$\pm 10$ нм

В настоящее время проводятся испытания мер для калибровки атомно-силовых микроскопов (АСМ) в целях утверждения типа средств измерений.

## **ФГУП «ВНИИМС»**

**I. Тема: «Совершенствование Государственного специального первичного эталона единицы длины в области измерений параметров шероховатости  $R_{\max}$ ,  $R_z$ ,  $R_a$  (ГЭТ 113-2010) в диапазоне  $10^{-6} \div 10^{-9}$  м».**

В части совершенствования эталонной базы в области измерений геометрических величин проводились работы по совершенствованию государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерений параметров шероховатости  $R_{\max}$ ,  $R_z$ , и  $R_a$  ГЭТ 113-2010 в диапазоне длин от 1 нм до 1000 нм.

В 2014 году в рамках данной НИР проведены следующие работы:

- мероприятия по передаче размера единицы длины рабочим эталонам (РЭ) в диапазоне измерений параметров  $R_{\max}$ ,  $R_z$  от 1 до 1000 нм;
- аттестация усовершенствованного ГЭТ в условиях стационарного режима функционирования и автоматического обеспечения нормальных условий измерений на усовершенствованном ГЭТ 113-2010.

***1. Мероприятия по передаче размера единицы длины рабочим эталонам (РЭ) в диапазоне измерений параметров  $R_{\max}$ ,  $R_z$  от 1 до 1000 нм***

В ходе работ были проведена аттестация метрологически обоснованных эталонных TGZ1, TGZ4. Аттестация эталонных мер

проводилась на эталонной установке в области измерений параметров шероховатости поверхности  $R_{\max}$ ,  $R_z$ , и  $R_a$  в диапазоне от 1 нм до 1000 нм в составе ГЭТ 113-2010. При аттестации измерялись высота ступеньки в соответствии с процедурой, описанной в ИСО 5436. После проведения девяти измерений высотных параметров поверхности эталонных мер серии TGZ  $R_i$  было вычислено среднеарифметическое значение  $R$ :

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1..n} R_i ,$$

где  $R_i$  – высотный параметр поверхности мер серии TGZ полученный в результате  $i$ -ого измерения,  $n$  – число измерений.

Контроль погрешности результатов измерений на СЗМ «Наноскан 3D» проводился в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002.

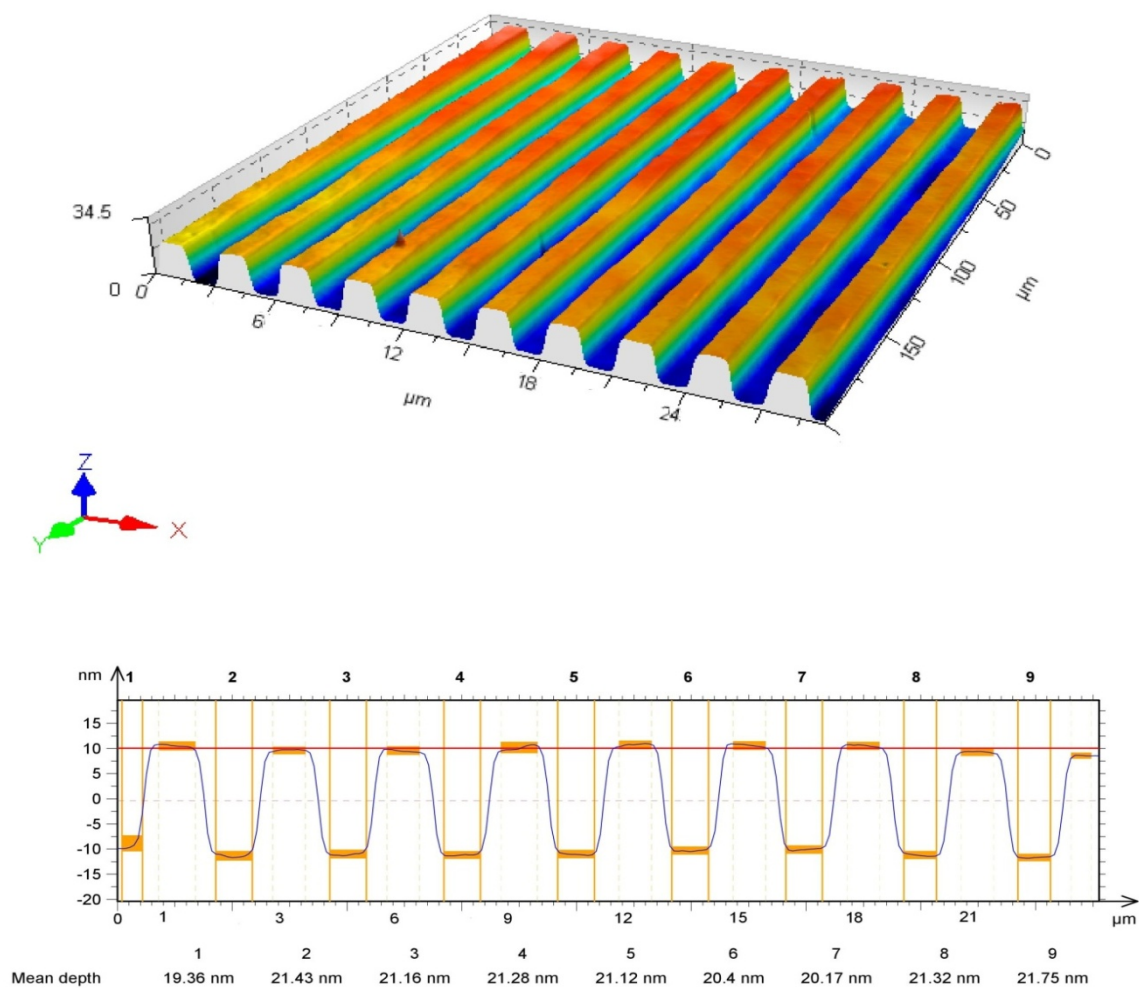
Данные об измеренных высотах эталонных мер серии TGZ ступеньки для разных профилей приведены в таблице 1 и на рис. 1, 2.

Таблица 1.

№ измерения	Высота ступеньки (нм)		Среднее значение высоты (нм)	
	TGZ1	TGZ4	TGZ1	TGZ4
1	19,36	1036,0	20,89	1044,67
2	21,43	1041,0		
3	21,16	1051,0		
4	21,28	1047,0		
5	21,12	1040,0		
6	20,40	1049,0		
7	20,17	1046,0		
8	21,32	1044,0		
9	21,75	1048,0		

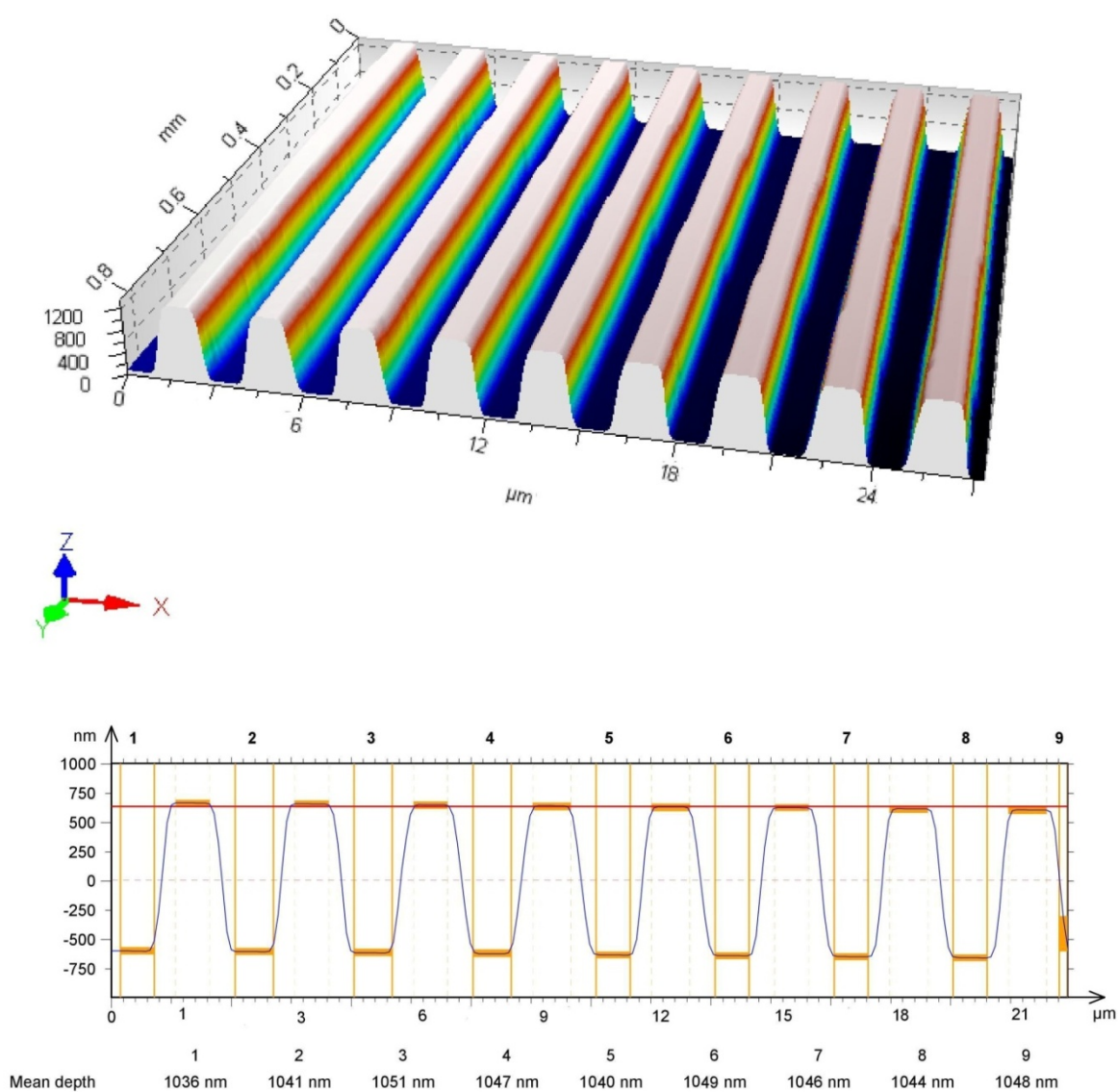
Таким образом, в результате аттестации установлено, что средняя высота ступенек составила 20,89 нм 1044,67 нм для эталонных мер

соответствующего диапазона, что соответствует заданным номинальным высотам ступенек.



TalyMap Platinum 6.2.6486

Рисунок 1 – Результаты аттестации высоты и ширины ступенек эталонной меры TGZ1.



TalyMap Platinum 6.2.6486

Рисунок 2 - Результаты аттестации высоты и ширины ступеньки эталонной меры TGZ4.

## ***2. Аттестация усовершенствованного ГЭТ в условиях стационарного режима функционирования и автоматического обеспечения нормальных условий измерений на усовершенствованном ГЭТ 113-2010***

В рамках аттестации усовершенствованного ГЭТ в условиях стационарного режима функционирования и автоматического обеспечения нормальных условий измерений на усовершенствованном ГЭТ 113-2010 проведены:

- Аттестация эталонной установки в условиях стационарного режима функционирования в составе ГЭТ 113-2010 на базе СЗМ;
- Аттестация эталонной установки в условиях стационарного режима функционирования в составе ГЭТ 113-2010 на базе СОМ (сканирующего оптического микроскопа);
- Было выбрано помещение, позволяющее поддерживать нормальные условия измерений на усовершенствованном ГЭТ 113-2010 в соответствии с ГОСТ ИСО 14644-1 на уровне класс 6 ИСО;
- По результатам аттестации эталонных установок на базе СЗМ и СОМ оформлено Свидетельство об аттестации усовершенствованного Государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерения параметров шероховатости поверхности  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $R_z$  (ГЭТ 113-2010).

Для улучшения метрологических характеристик Государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерения параметров шероховатости  $R_{max}$ ,  $R_z$ , и  $R_a$  ГЭТ 113-2010 в его схему были внесены эталонные установки на базе сканирующего оптического микроскопа и сканирующего зондового микроскопа. Автоматическое обеспечение нормальных условий измерений на усовершенствованном ГЭТ 113-2010 было достигнуто в специальном помещении позволяющим поддерживать нормальные условия измерений в соответствии с ГОСТ ИСО 14644-1 на уровне класс 6 ИСО.

Аттестация эталонной установки в составе ГЭТ 113-2010 на базе СЗМ включала в себя измерение в условиях стационарного режима функционирования откалиброванных в РТВ (Германия) мер высоты и периода TGZ01, TGZ02 и TGZ03 на эталонной установке на базе СЗМ «Наноскан 3D» в составе совершенствуемого эталона и сравнение результатов измерений с действительными значениями высоты и шага мер серии TGZ. По результатам сравнения действительных и измеренных значений высоты и шага сделан вывод о соответствии метрологических характеристик эталонной установки на базе СЗМ «Наноскан 3D» техническому заданию (продекларированным в нём значениям метрологических характеристик эталонной установки на базе СЗМ). В таблице 2 приведены результаты измерений текущих значений высотных и шаговых параметров эталонных мер серии TGZ на эталонной установке на базе СЗМ «Наноскан 3D». В таблице 3 приведены средние арифметические значения высотных и шаговых параметров эталонных мер серии TGZ по результатам измерений их текущих значений на эталонной установке на базе

СЗМ «Наноскан 3D». В таблице 4 приведены результаты аттестации эталонной установки на её соответствие техническому заданию на разработку эталонной установки на базе СЗМ «Наноскан 3D». В таблице 5  
Таблица 2

Результаты измерений текущих значений высотных и шаговых параметров эталонных мер серии TGZ на эталонной установке на базе СЗМ «Наноскан 3D».

№ измерения	Высота ступеньки, нм			Шаг ступеньки, мкм		
	TGZ1	TGZ2	TGZ3	TGZ1	TGZ2	TGZ3
5	18,14	100,44	487,73	3,01	3,21	3,10
10	18,09	100,23	488,76	3,02	3,22	3,11
15	18,23	100,15	487,82	2,99	3,19	3,09
20	18,08	99,93	487,89	2,98	3,18	3,10
25	18,08	99,99	487,77	3,00	3,20	3,12
30	18,05	99,79	488,28	3,01	3,21	3,08
35	18,14	99,87	488,31	2,99	3,22	3,10
40	18,04	100,08	488,4	3,00	3,18	3,08
45	18,06	100,19	488,16	3,00	3,19	3,12
50	18,19	100,13	488,51	3,0	3,20	3,10
55	18,07	100,17	487,59	2,98	3,21	3,09
60	18,10	99,91	487,96	3,00	3,19	3,11
65	18,22	99,88	488,39	3,02	3,20	3,10
70	18,17	100,02	488,21	2,98	3,21	3,11
75	17,99	100,19	487,48	2,99	3,19	3,09
80	18,08	100,27	487,2	3,02	3,20	3,10
85	18,07	100,02	487,36	3,01	3,20	3,10
90	18,06	100,19	488,39	3,02	3,20	3,11
95	18,17	99,91	488,28	3,01	3,19	3,10
100	18,04	100,02	487,60	3,01	3,20	3,11

Таблица 3

Средние арифметические значения высотных и шаговых параметров эталонных мер серии TGZ по результатам измерений их текущих значений на эталонной установке на базе СЗМ «Наноскан 3D»

Название меры	TGZ1	TGZ2	TGZ3
Среднее значение высоты, нм	18,10588	100,0741	487,9894
Среднее значение шагов, мкм	3,00	3,20	3,10

Таблица 4

Результаты аттестации эталонной установки на её соответствие техническому заданию на разработку эталонной установки на базе СЗМ «Наноскан 3D».

Мера	Паспортное значение высоты, нм	Измеренное значение высоты, нм	Паспортное значение периода, мкм	Измеренное значение периода, мкм
TGZ01	18±1	18,10588	3,00±0,05	3,00
TGZ02	100±2	100,0741	3,20±0,05	3,20
TGZ03	487±4	487,9894	3,10±0,05	3,10

В таблице 5 приведены результаты аттестации эталонной установки на базе СЗМ «Наноскан 3D».

Таблица 5

Результаты аттестации эталонной установки на базе СЗМ «Наноскан 3D»

Мера	Паспортное значение высоты, нм	Измеренное значение высоты, нм	Паспортное значение периода, мкм	Измеренное значение периода, мкм
TGZ01	18±1	18,10588	3,00±0,05	3,00
TGZ02	100±2	100,0741	3,20±0,05	3,20



TGZ03	487±4	487,9894	3,10±0,05	3,10
-------	-------	----------	-----------	------

Доверительный интервал в таблице указан при коэффициенте покрытия  $K=2$  и доверительной вероятности 95%.

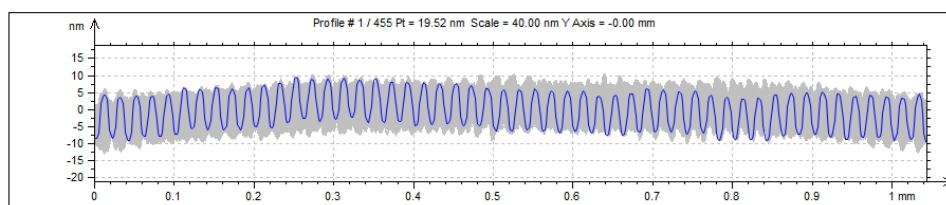
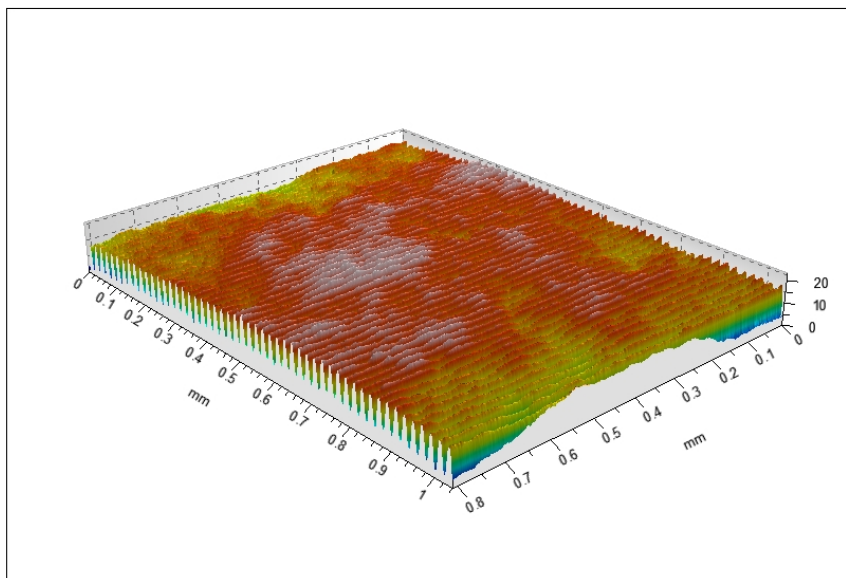
Аттестация эталонной установки в составе ГЭТ 113-2010 включала в себя измерение рабочих эталонов ФГУП «ВНИИМС» - аттестованных в установленном порядке мер профильных ПРО-10, производства ЗАО «Протон-МИЭТ» в условиях стационарного режима функционирования, на эталонной установке на базе COM CCI-6000, фирмы TAYLOR HOBSON, Великобритания, в составе совершенствуемого эталона и сравнение результатов измерений с действительными значениями геометрических параметров указанных рабочих эталонов. По результатам сравнения действительных и измеренных значений геометрических параметров сделан вывод о соответствии метрологических характеристик эталонной установки на базе COM CCI-6000 техническому заданию (продекларированным в нём значениям метрологических характеристик эталонной установки на базе COM). Результаты исследований метрологических характеристик и аттестации эталонной установки на базе сканирующего оптического микроскопа в составе совершенствуемого эталона ГЭТ 113-2010 приведен на рис. 3-7. В таблице 6 приведены результаты аттестации эталонной установки на её соответствие техническому заданию на разработку эталонной установки на базе COM CCI-6000.

Таблица 6

Результаты аттестации эталонной установки на её соответствие техническому заданию на разработку эталонной установки на базе COM CCI-6000

Название меры	ПРО-10 с номиналом Ra 4 нм	ПРО-10 с номиналом Ra 6,5 нм	ПРО-10 с номиналом Ra 11 нм	ПРО-10 с номиналом Ra 17 нм	ПРО-10 с номиналом Ra 27 нм
Паспортное значение высоты, нм	4,0±0,1	6,5±0,2	11,0±0,3	17,0±0,5	27,0±1
Измеренное значение высоты, нм	4,19	6,66	11,11	17,21	26,97

## РЕЗУЛЬТАТ КАЛИБРОВКИ МЕРЫ (НОМИНАЛ Ra4нм)

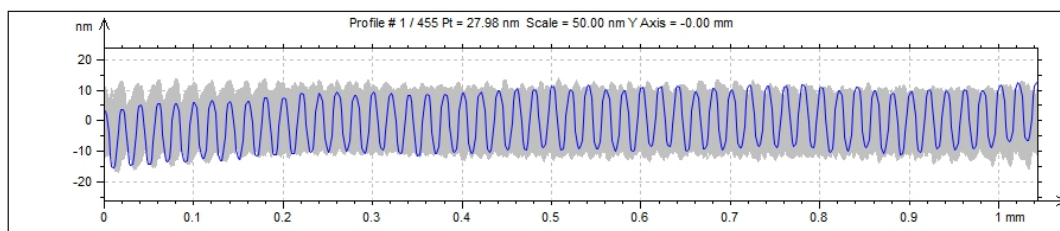
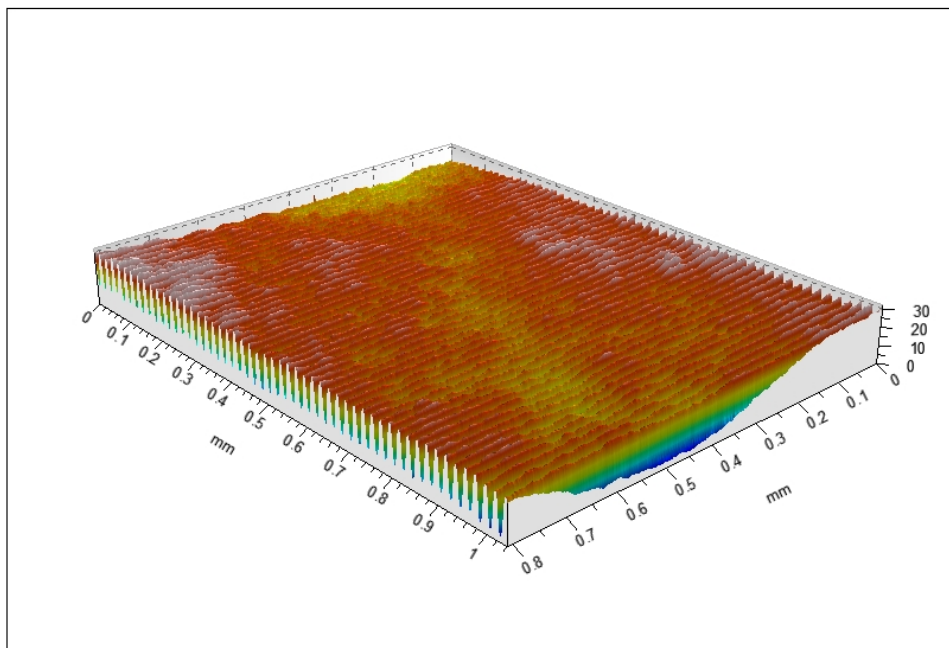


ISO 4287						
		Context	Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile						
<b>Rp</b>	nm	Gaussian filter, 0.25 mm	6.80	0.15	6.31	7.29
<b>Rv</b>	nm	Gaussian filter, 0.25 mm	7.05	0.16	6.69	7.61
<b>Rz</b>	nm	Gaussian filter, 0.25 mm	13.84	0.24	13.21	14.49
<b>Rt</b>	nm	Gaussian filter, 0.25 mm	14.47	0.39	13.58	15.91
<b>Ra</b>	nm	Gaussian filter, 0.25 mm	4.19	0.04	4.09	4.27
<b>Rq</b>	nm	Gaussian filter, 0.25 mm	4.58	0.04	4.48	4.68
Spacing parameters - Primary profile						
<b>PSm</b>	mm		0.02	0.00	0.02	0.02

TalyMap Platinum 6.2.7106

Рисунок 3. Результаты измерений высот эталонной меры ПРО-10 с номиналом Ra 6,5 нм

## РЕЗУЛЬТАТ КАЛИБРОВКИ МЕРЫ (НОМИНАЛ Ra6,5нм)

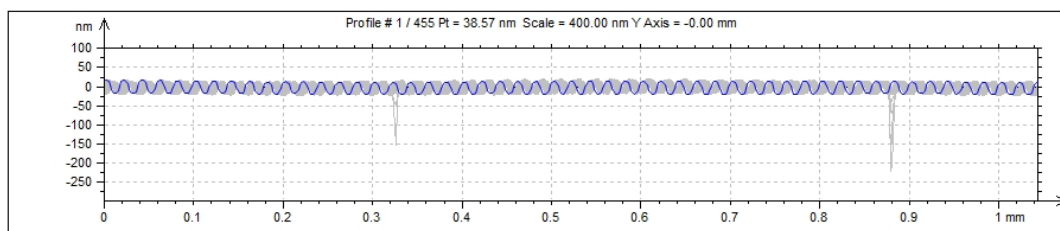
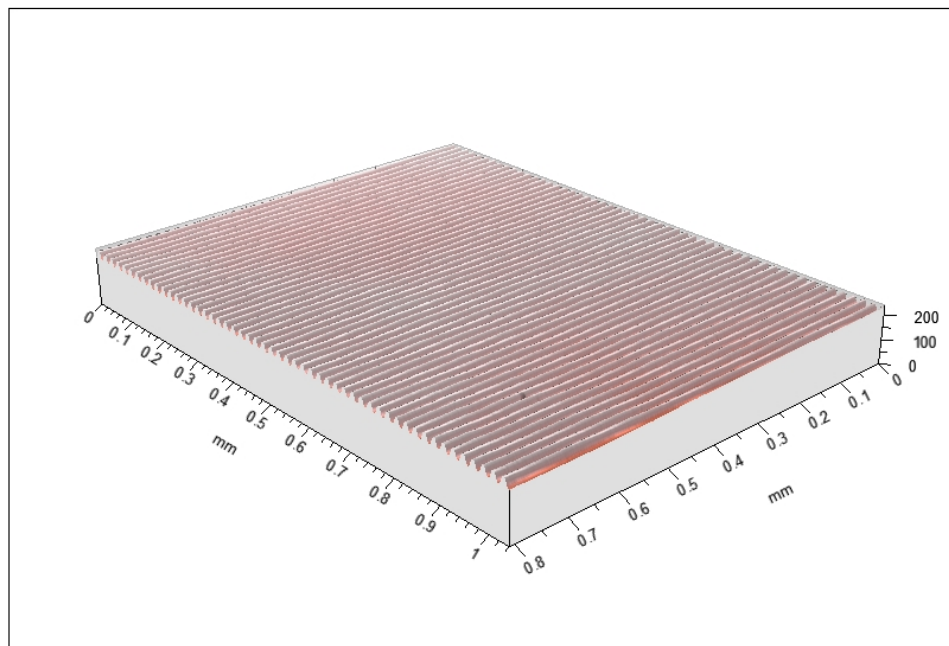


ISO 4287						
		Context	Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile						
<b>Rp</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	10.48	0.22	10.04	11.15
<b>Rv</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	10.77	0.19	10.34	11.46
<b>Rz</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	21.25	0.29	20.60	22.22
<b>Rt</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	22.00	0.47	21.07	23.28
<b>Ra</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	6.66	0.03	6.57	6.75
<b>Rq</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	7.27	0.03	7.19	7.35
Spacing parameters - Primary profile						
<b>PSm</b>	mm		0.02	0.00	0.02	0.02

TalyMap Platinum 6.2.7106

Рисунок 4. Результаты измерений высот эталонной меры ПРО-10 с номиналом Ra 6,5 нм

## РЕЗУЛЬТАТ КАЛИБРОВКИ МЕРЫ (НОМИНАЛ Ra11нм)

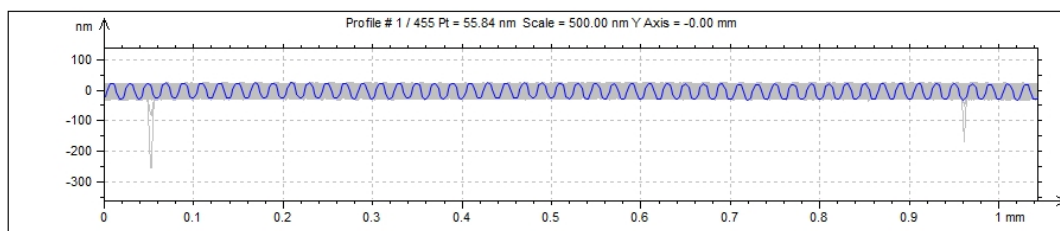
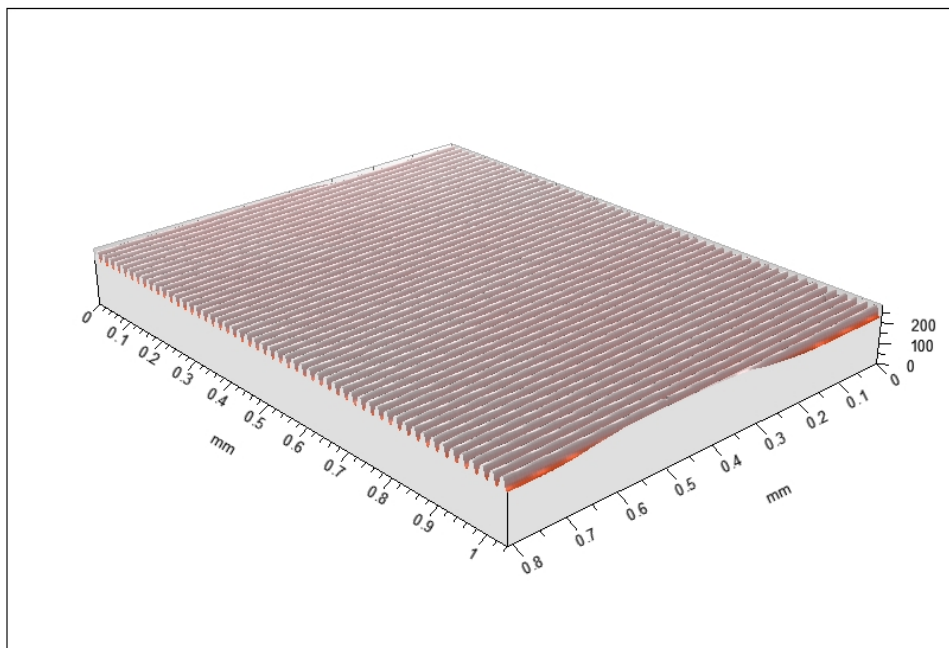


ISO 4287						
		Context	Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile						
<b>Rp</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	16.79	0.24	16.27	19.19
<b>Rv</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	17.43	1.79	16.68	53.26
<b>Rz</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	34.22	1.86	33.39	71.22
<b>Rt</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	36.51	12.49	34.13	215.93
<b>Ra</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	11.11	0.03	11.04	11.56
<b>Rq</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	12.10	0.08	12.04	13.76
Spacing parameters - Primary profile						
<b>PSm</b>	mm		0.02	0.00	0.02	0.02

TalyMap Platinum 6.2.7106

Рисунок 5. Результаты измерений высот эталонной меры ПРО-10 с номиналом Ra 11,0 нм

## РЕЗУЛЬТАТ КАЛИБРОВКИ МЕРЫ (НОМИНАЛ Ra17нм)



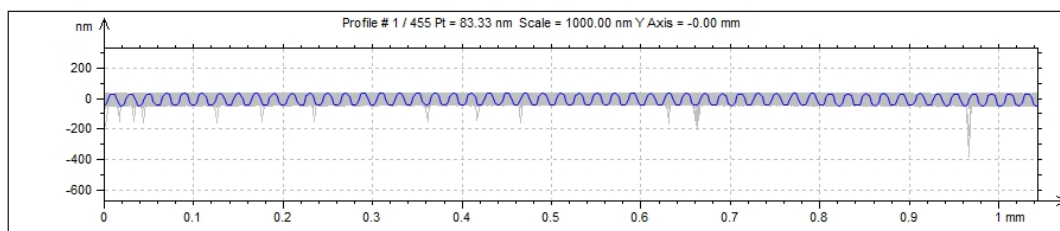
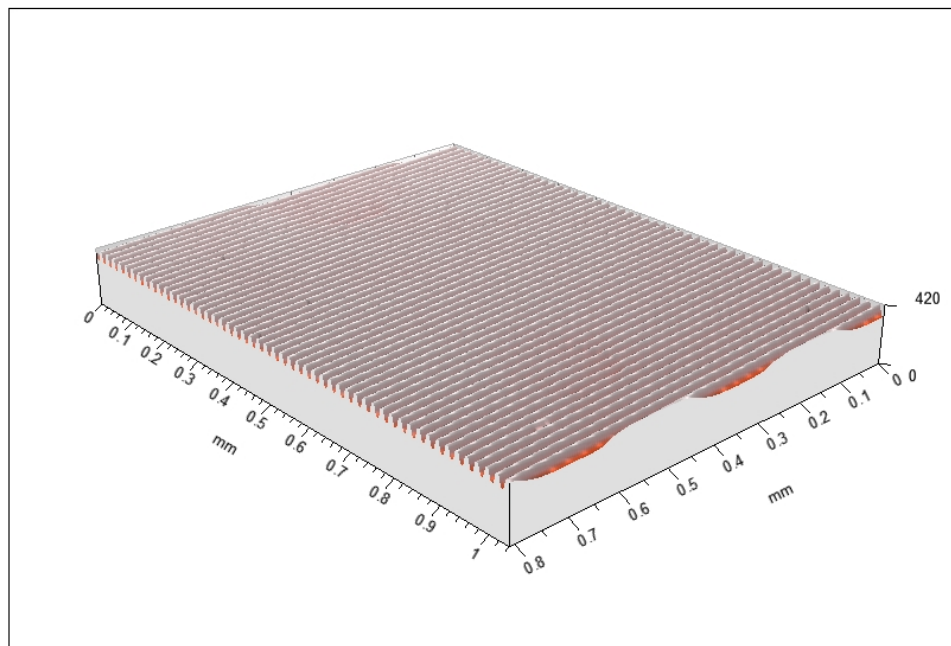
ISO 4287		Context	Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile						
<b>Rp</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	25.17	0.27	24.54	25.86
<b>Rv</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	26.06	0.22	25.55	26.95
<b>Rz</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	51.23	0.35	50.45	52.25
<b>Rt</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	52.11	0.57	50.77	54.89
<b>Ra</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	17.21	0.10	17.04	17.42
<b>Rq</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	18.72	0.10	18.53	18.93
Spacing parameters - Primary profile						
<b>PSm</b>	mm		0.02	0.00	0.02	0.02

TalyMap Platinum 6.2.7106

Рисунок 6. Результаты измерений высот эталонной меры ПРО-10 с номиналом Ra 17,0 нм



## РЕЗУЛЬТАТ КАЛИБРОВКИ МЕРЫ (НОМИНАЛ Ra27нм)



ISO 4287						
		Context	Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile						
<b>Rp</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	38.50	0.52	37.32	41.82
<b>Rv</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	40.90	3.70	39.51	76.32
<b>Rz</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	79.40	4.02	77.43	118.14
<b>Rt</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	81.84	10.88	77.66	193.32
<b>Ra</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	26.97	0.11	26.69	27.67
<b>Rq</b>	nm	<i>Gaussian filter, 0.25 mm</i>	29.23	0.16	28.96	30.64
Spacing parameters - Primary profile						
<b>PSm</b>	mm		0.02	0.00	0.02	0.02

TalyMap Platinum 6.2.7106

Рисунок 7. Результаты измерений высот эталонной меры ПРО-10 с номиналом Ra 27,0 нм

## **БелГИМ**

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18 февраля 2013 г. № 113 утверждена Концепция формирования и развития nanoиндустрии в Республике Беларусь. В соответствии с планом мероприятий по реализации положений Концепции на Госстандарт возложена задача подготовки предложений по созданию и организации деятельности специализированной лаборатории эталонов в нанометровом диапазоне (далее – лаборатория) на базе Республиканского унитарного предприятия «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГИМ) в течение 2013-2020 гг.

Целью создания специализированной лаборатории эталонов в нанометровом диапазоне является:

- создание метрологического приборного комплекса для измерения линейных размеров в нанометровом диапазоне;
- разработка эталона (установки высшей точности) на базе приборов нанометрового диапазона с интерференционными и другими датчиками перемещений;
- разработка комплекса мер для калибровки приборов нанометрового диапазона, а также для передачи размера единицы длины в нанометровом диапазоне от эталона к рабочим СИ;
- участие в международных сличениях эталонов для нанотехнологий и nanoиндустрии, с целью обеспечения международного признания эталонов.

Перечень имеющегося оборудования в БелГИМ для метрологического обеспечения nanoиндустрии Республики Беларусь:

**Таблица 1**

Наименование средств измерений	Тип	Основные метрологические характеристики
1	2	3
Меры эталонные ширины и высоты 3D (решетки), Россия	TGX01	Высота ступеньки от 18 до 1350 нм; расширенная неопределенность от 0,3 до 5 мкм, при $k=2$ ; Шаг от 3 нм до 10 мкм; расширенная неопределенность от 0,3 до 3 нм при $k=2$ .
	TGX11	
	TGG01	
	TGZ01, TGZ01C	
	TGZ02, TGZ02C	
	TGZ03, TGZ03C	
	TGZ04, TGZ04C	
	TGZ11	
	TGF11	

1	2	3
Меры эталонные высоты 1D (ступеньки) PTV (Германия)	Step Height Standard Type A	Высота ступеньки: 7,2; 60,0; 295,4; 781,4 нм, расширенная неопределенность от 0,7 до 1,4 нм при k=2.
Объект – микрометры	ОМО, ОМП	Диапазон измерений от 0 до 1000 мкм, $\Delta=\pm 1$ мкм
Кругломер фирмы «Taylor Hobson» (Англия)	Talysond 565	Диапазон измерений отклонений формы от 20 нм до 1000 мкм, расширенная неопределенность 40 нм при k=2.
Система измерительная фирмы «Taylor Hobson» (Англия)	Form Talysurf	Диапазон измерений параметров шероховатости от 10 нм до 1000 мкм, $\delta=\pm 0,5\%$
Нановольтметр/микроомметр фирмы «Agilent» (Америка)	Agilent 34420A	Диапазон измерений: от 300 пВ до 100 В $\delta=\pm(0,004\div 0,025)\%$ ; от 300 нОм до 1 МОм, $\delta=\pm(0,062\div 0,009)\%$
Измеритель прецизионный фирмы «Keithley» (Америка)	6430A	Диапазон измерений от 10 нА до 100 мА погрешность от $\pm(0,055\% + 6 \text{ мкА})$ до $\pm(1,0\% + 7 \text{ пА})$ ;
Хроматограф газовый фирмы «Термо» (Америка)	Trace GC Ultra	Качественное обнаружение и количественное определение примесей в чистых газах. Предел обнаружения 0,1 ppm
Спектрофотометр фирмы «Varian» (Америка)	Cary	Диапазон длин волн: от 0,2 до 0,8 мкм, $\delta=\pm 0,12\%$ ; от 0,8 до 2,5 мкм, $\delta=\pm 0,15\%$ ;
Кондуктометрическая поверочная установка (Россия)	КПУ -1	Диапазон измерений удельной электрической проводимости растворов от $10^{-6}$ до $10^{-4}$ См/м, $\delta = \pm 0,5\%$ ; от $10^{-4}$ до 100 См/м, $\delta = \pm 0,1\%$ ;

В ходе реализации программы “Создать лабораторию эталонов в нанометровом диапазоне измерений для метрологического обеспечения nanoиндустрии” БелГИМ за отчетный период выполнено следующее.



В 2013 году проведены две поисковые работы:

- «Провести исследования требований международных стандартов ISO и европейских EN, предъявляемых к созданию специализированной лаборатории эталонов в нанометровом диапазоне»;

- «Провести исследования по выбору оптимальной комплектации специализированной лаборатории эталонов в нанометровом диапазоне».

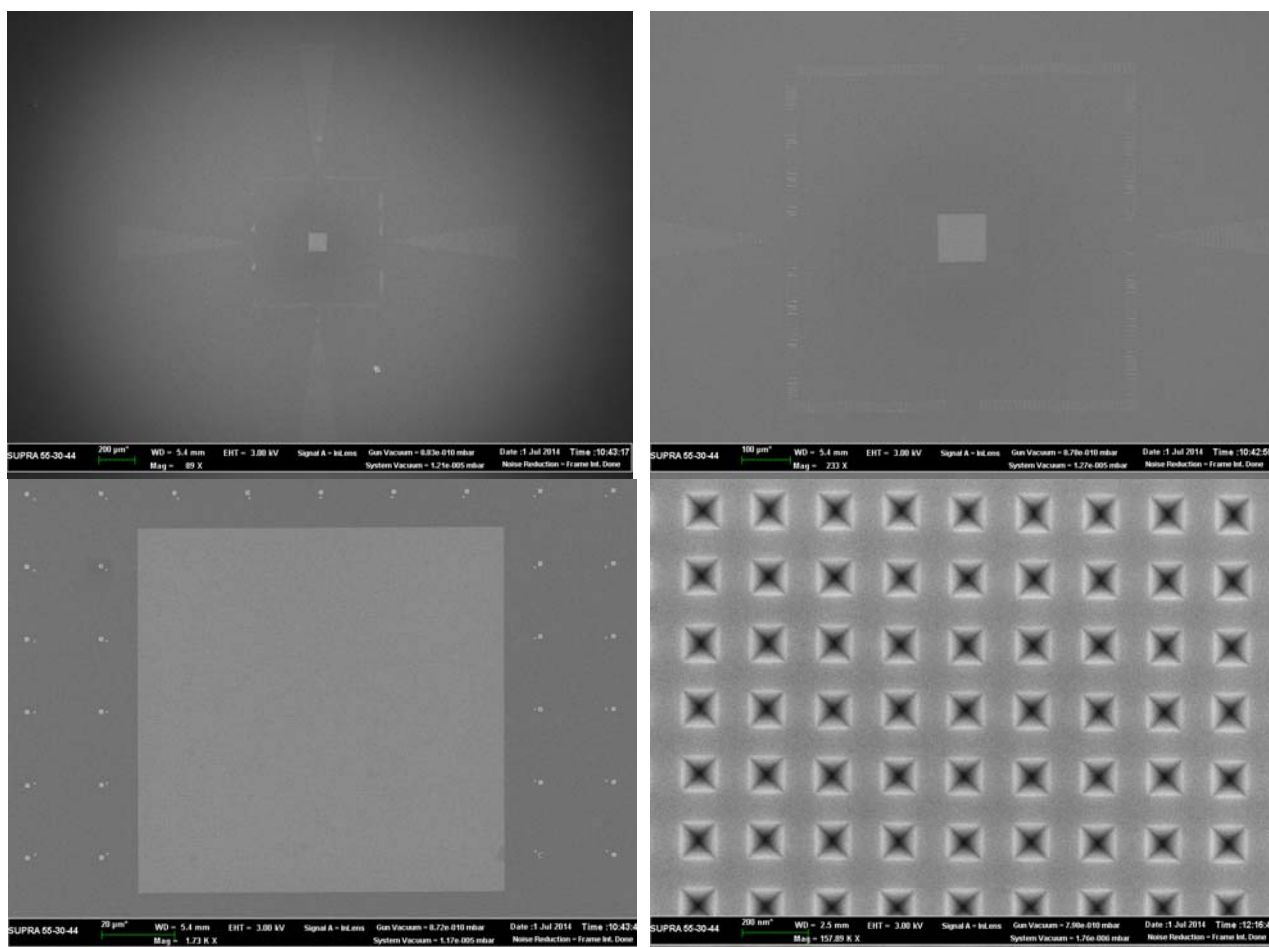
По результатам исследований оформлены отчеты о НИР.

В 2014 году БелГИМ приобрел комплект эталонных мер для метрологического контроля растровых электронных микроскопов (РЭМ) производства NANOSENSORS™ (Швейцария) с сертификатами калибровки Физико-Технического института (PTB) Германии.

Основные метрологические характеристики эталонных мер приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

Наименование эталонной меры	Основные метрологические характеристики
<b>2D100</b>	Шаг $p_x$ по оси $x$ 99,993 nm, расширенная неопределенность $\pm 0,013$ nm при $k=2$ Шаг $p_y$ по оси $y$ 99,995 nm, расширенная неопределенность $\pm 0,013$ nm при $k=2$ Угол $\alpha$ 90,006° расширенная неопределенность $\pm 0,016^\circ$ при $k=2$
<b>2D200</b>	Шаг $p_x$ по оси $x$ 199,995 nm, расширенная неопределенность $\pm 0,027$ nm при $k=2$ Шаг $p_y$ по оси $y$ 199,980 nm, расширенная неопределенность $\pm 0,027$ nm при $k=2$ Угол $\alpha$ 90,002° расширенная неопределенность $\pm 0,016^\circ$ при $k=2$
<b>2D300</b>	Шаг $p_x$ по оси $x$ 299,99 nm, расширенная неопределенность $\pm 0,04$ nm при $k=2$ Шаг $p_y$ по оси $y$ 299,98 nm, расширенная неопределенность $\pm 0,04$ nm при $k=2$ Угол $\alpha$ 90,009° расширенная неопределенность $\pm 0,018^\circ$ при $k=2$



**Рисунок 1 - Изображения эталонных мер, полученные при калибровке микроскопа растрового электронного**