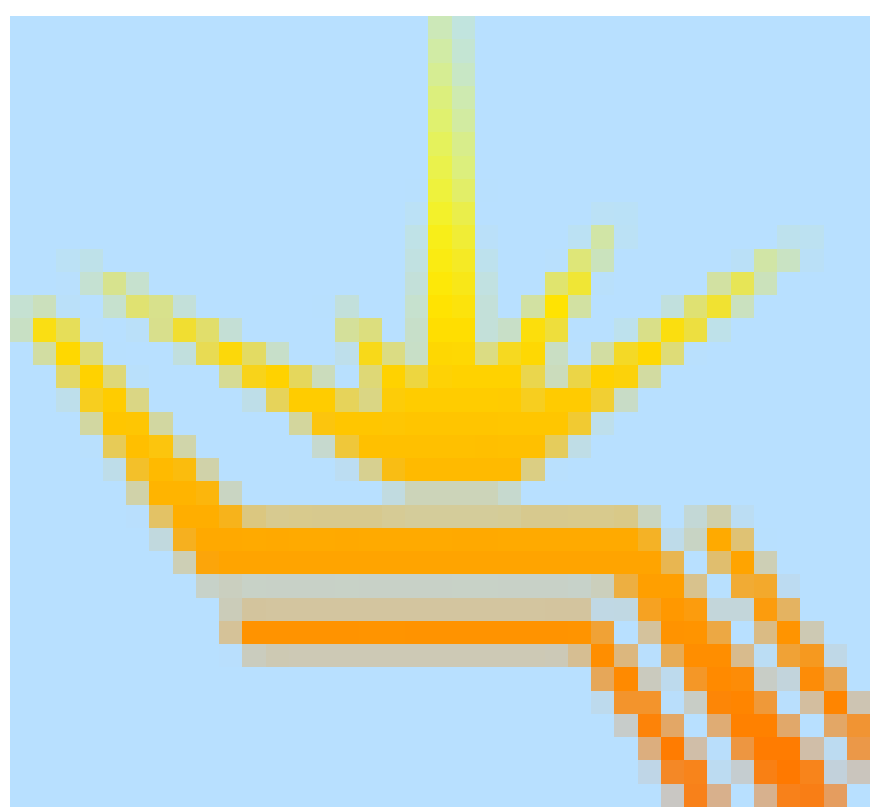




All-Metal Microstructured Elements for Terahertz Applications (95)

Author(s): Mr. GENTSELEV, Aleksandr¹ Co-author(s): Mr. KUZNETSOV, Sergei^{2,3,4};

Dr. DULTSEV, Fedor^{2,3}

1) Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia (Budker INP SB RAS)

2) Rzhzanov Institute of Semiconductor Physics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; 3) Novosibirsk State University;

4) Novosibirsk Division of Rzhzanov Institute of Semiconductor Physics of the Siberian Branch of the RAS “Technological Design Institute of Applied Microelectronics”



The design and fabrication method for thick (with thickness up to ~1 mm) planar metal microstructures of subwavelength topology, intended to control electrodynamic characteristics of radiation beams in the terahertz (THz) range of the electromagnetic spectrum, are described. Such structures have a number of advantages as compared to pseudometallic microstructures made of polymethylmethacrylate (PMMA) with metallized surface. The latter are inferior to the former ones due to such drawbacks as shorter life (as a result of natural aging of the polymer), restrictions on the radiation power density for the impinging THz beams, etc. The structures made entirely of metal do not exhibit the aforementioned disadvantages.

Представлены дизайн и техника изготовления толстых (толщиной до ~1 мм) планарных цельнометаллических микроструктур субволновой топологии, предназначенных для управления электродинамическими характеристиками пучков излучения в диапазоне терагерцовых (ТГц) частот электромагнитного спектра. АЧХ таких микроструктур зависят от их толщины, что проиллюстрировано на рис. 1.

Такие структуры имеют ряд преимуществ по сравнению с псевдометаллическими микроструктурами, выполненными из полиметилметакрилата (ПММА) с металлизированной поверхностью. К недостаткам последних относятся, в частности, недолговечность (вследствие естественного старения полимера), ограничения на плотность мощности падающих пучков ТГц-излучения и др. Переход на структуры, изготовленные полностью из металла, позволяет исключить вышеуказанные недостатки.

Описан способ изготовления ММС из меди по планарной кремниевой технологии путем реализации следующей последовательности операций:

1. Формирование на рабочей поверхности Si пластин адгезивных проводящих подслоев.
2. Формирование посредством глубокой рентгенолитографии резистивной маски из негативного резиста SU-8, толщиной ~ 300÷1000 мкм, что предполагает наличие LIGA-шаблонов с необходимой величиной контрастности (с соответствующей толщиной маскирующего слоя, выполненного из тяжелого металла), изготовление которых описано в Патент RU №2716858 на изобретение: «Способ изготовления кремниевого рентгеношаблона» / Генцелев А.Н., Дульцев Ф.Н. - Опубл. в Б.И., 2020, №8.
3. Гальваническое осаждение меди, на рабочую поверхность пластины через резистивную маску.
4. Плазменное удаление резистивной маски.
5. Освобождение медной микроструктуры (1) отделением от кремниевой пластины, 2) полным растворением кремниевой пластины в щелочи, 3) удалением центральной части кремниевой пластины путем ионно-лучевого реактивного травления или жидкостного травления с тыльной стороны).
6. Восстановление меди и двустороннее магнетронное напыление алюминиевого защитного покрытия на итоговое изделие.

Проведенная работа показывает, что, базируясь на кремниевой планарной технологии, можно изготовить толстые планарные металлические микроструктуры толщиной до от 10 до 1000 мкм, которые найдут своё применение в управлении пучками терагерцового излучения и в других приложениях...

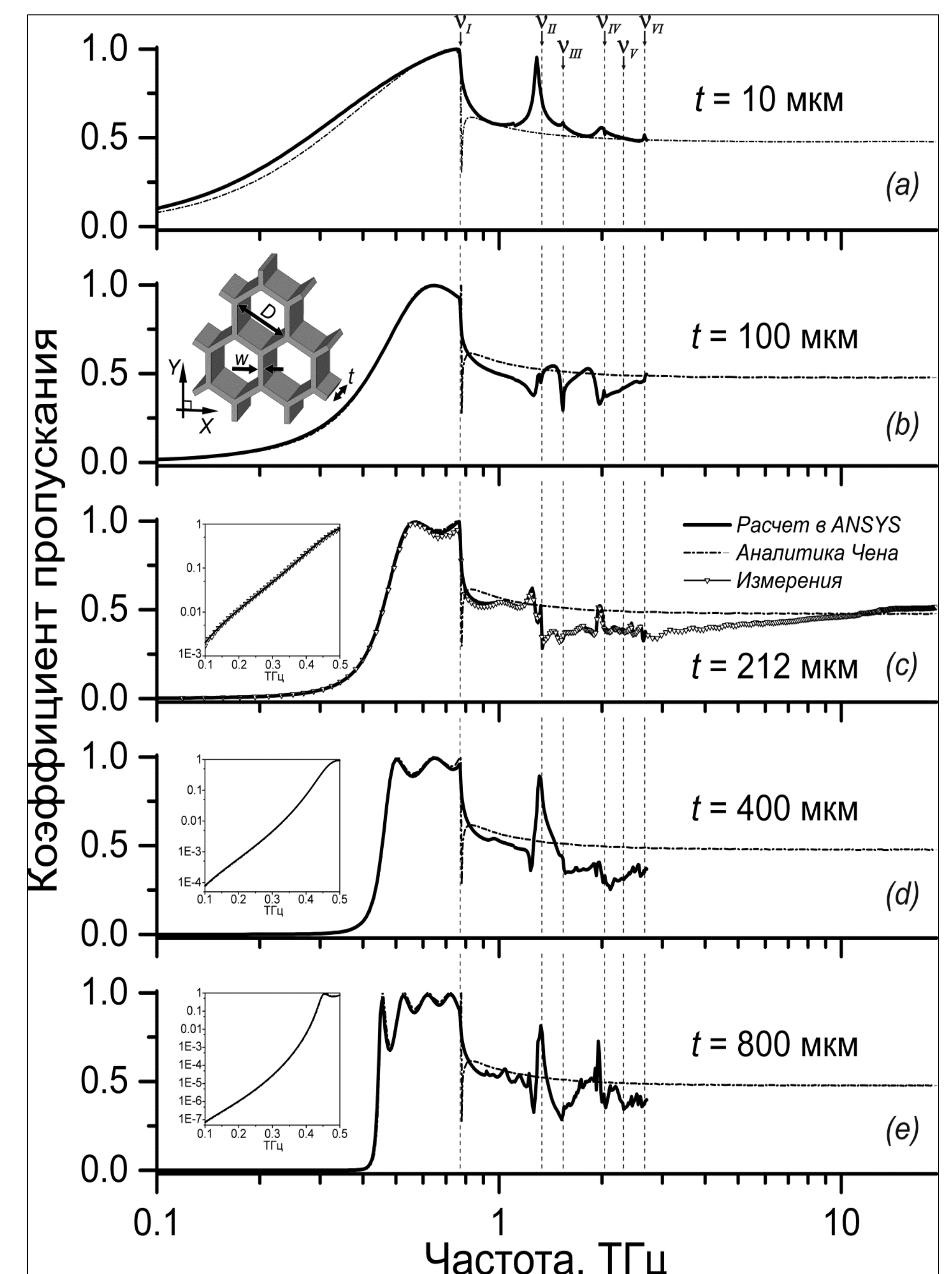
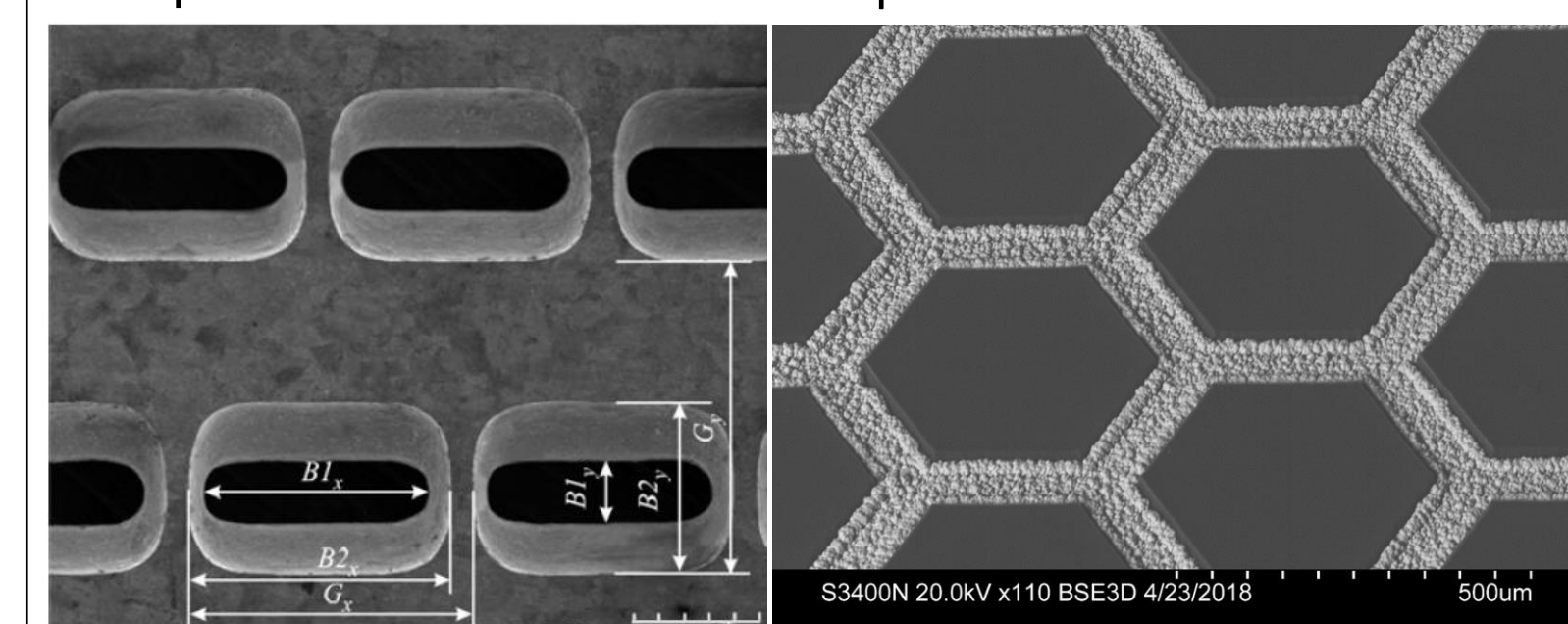
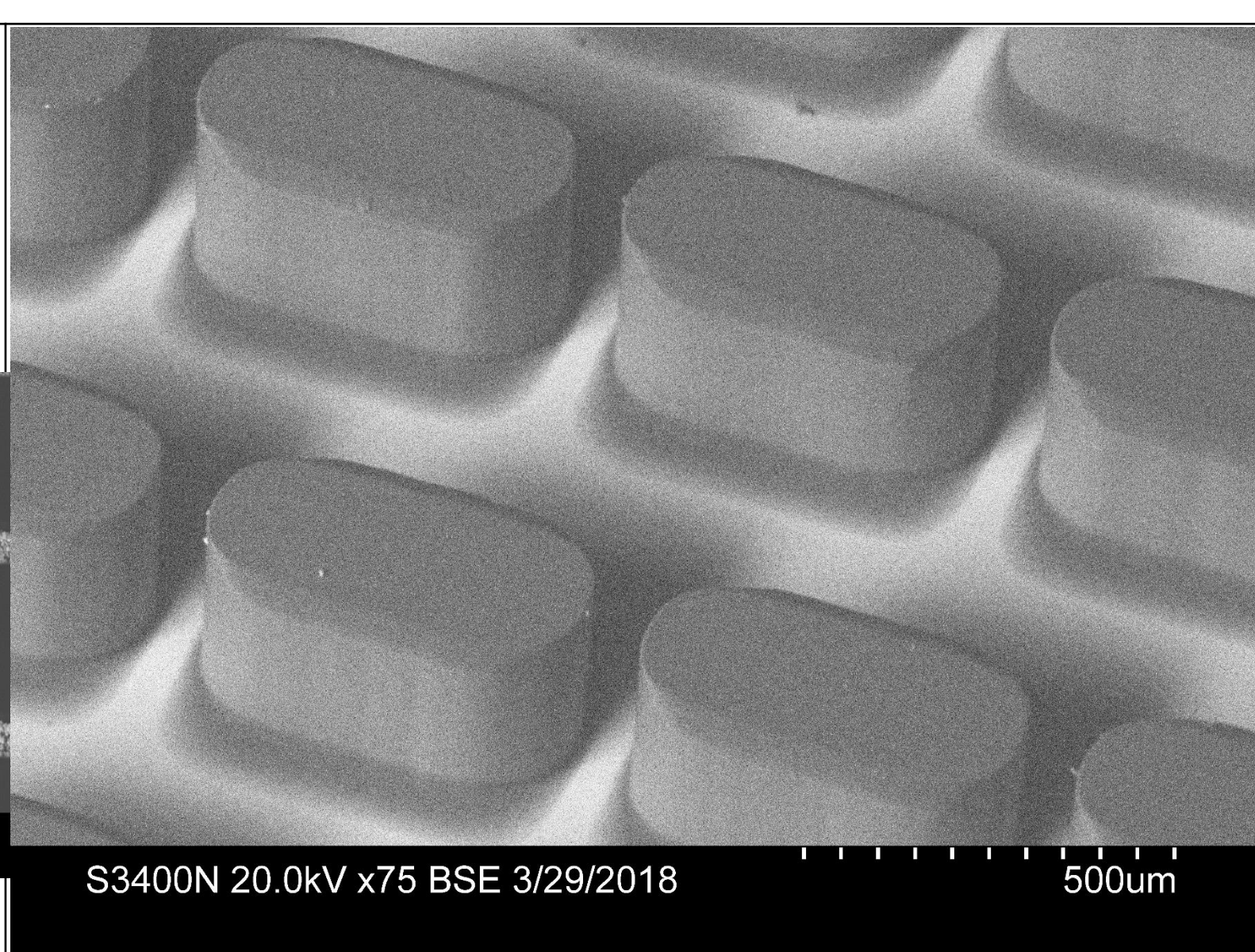
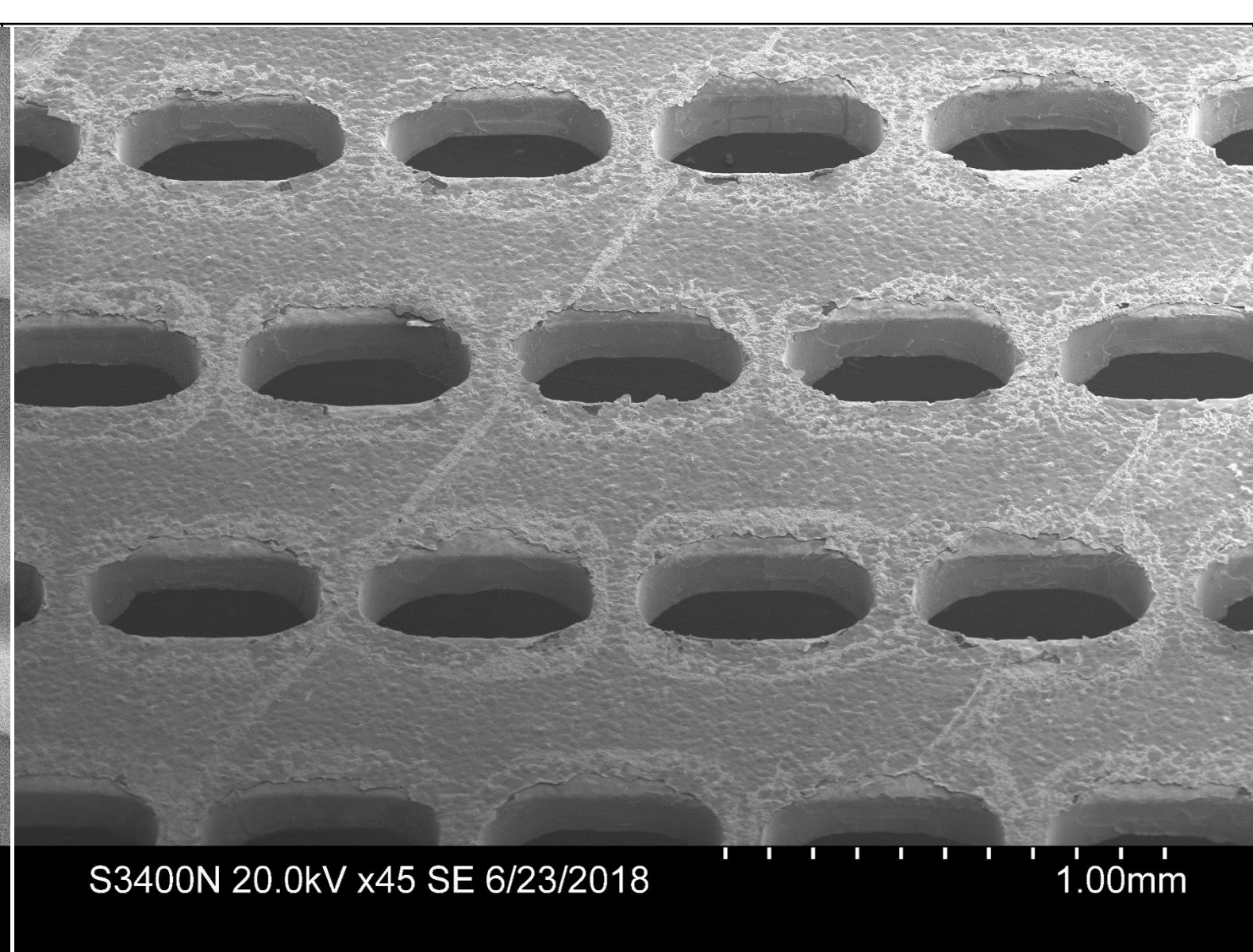
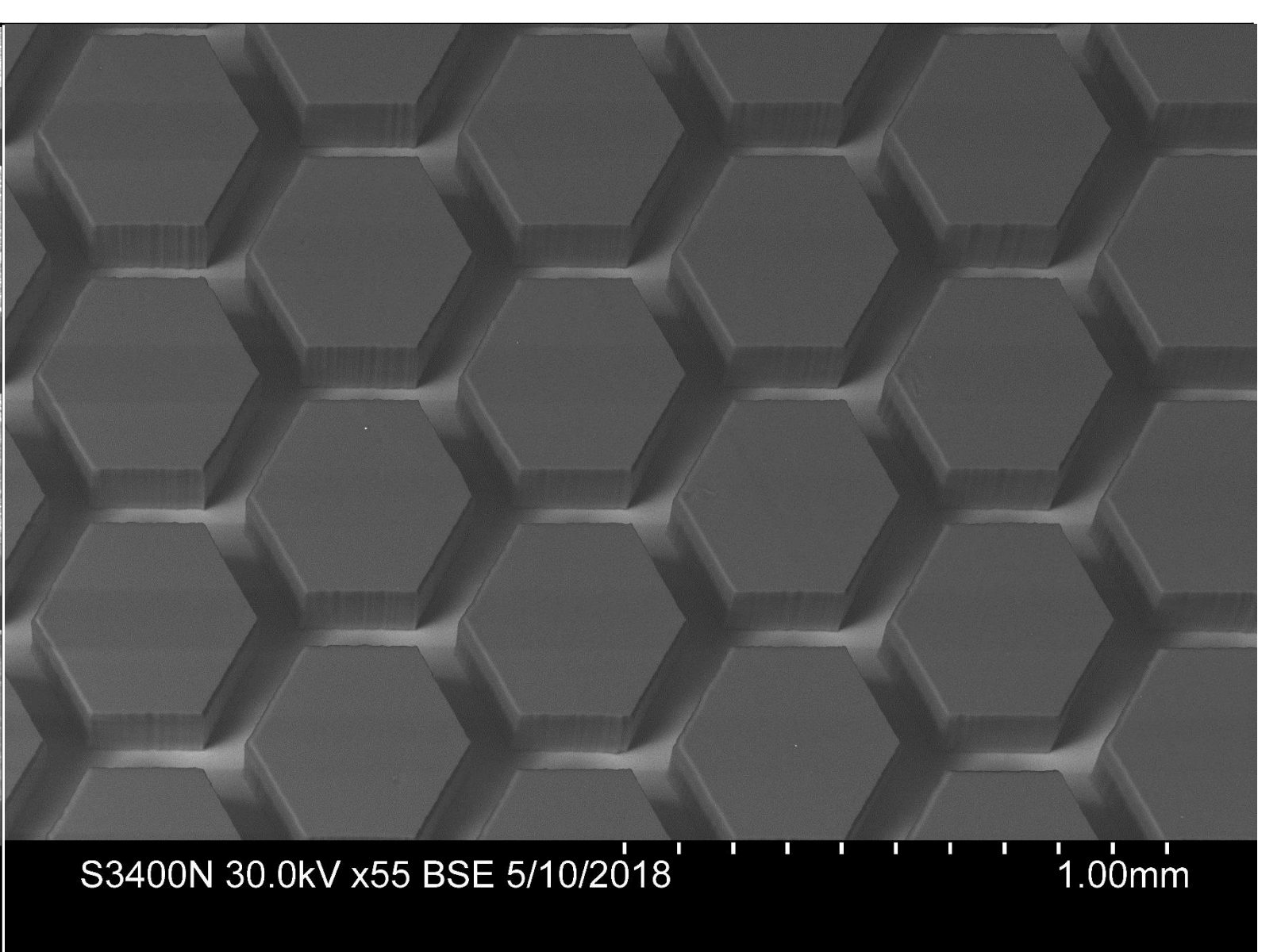
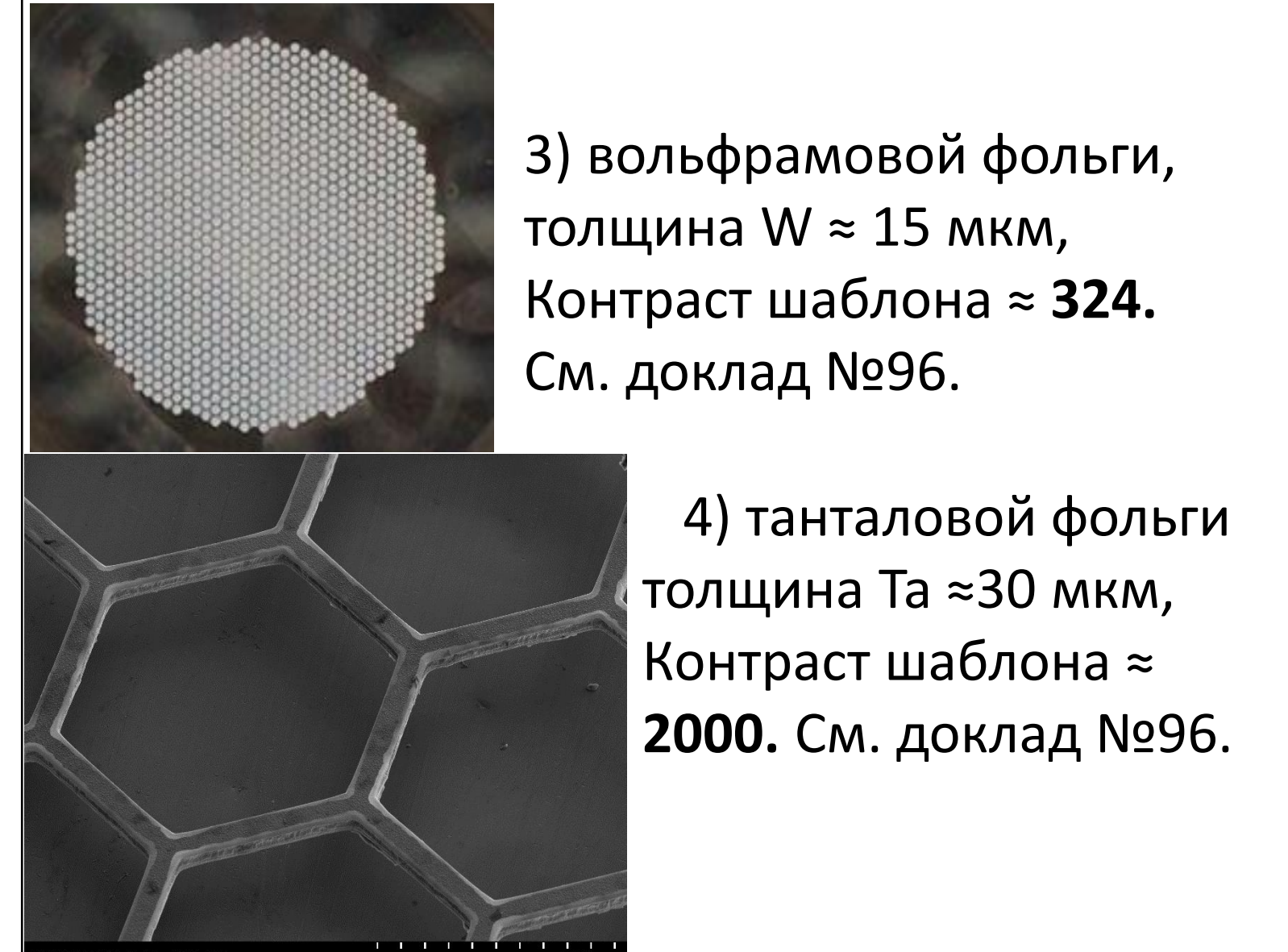
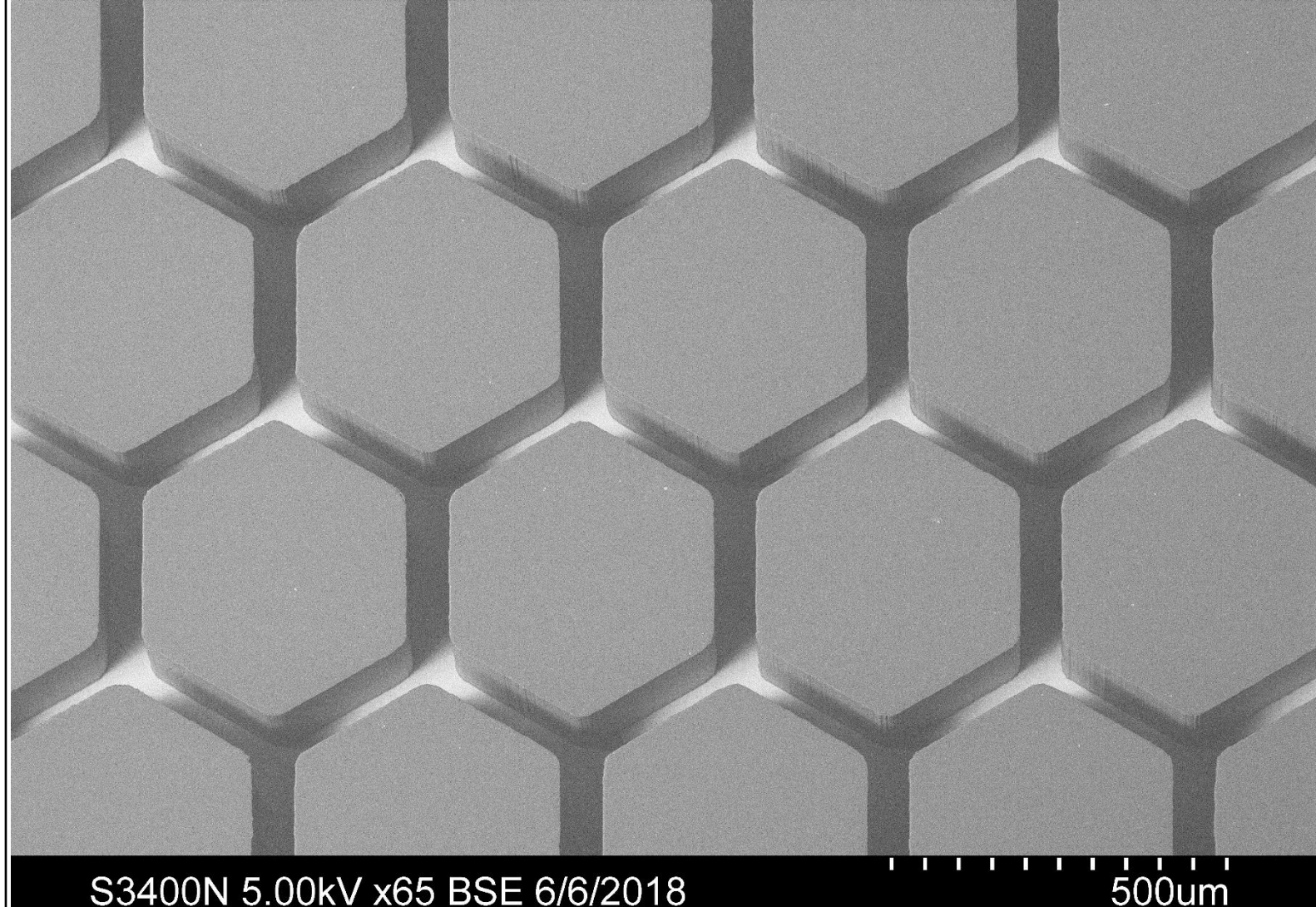
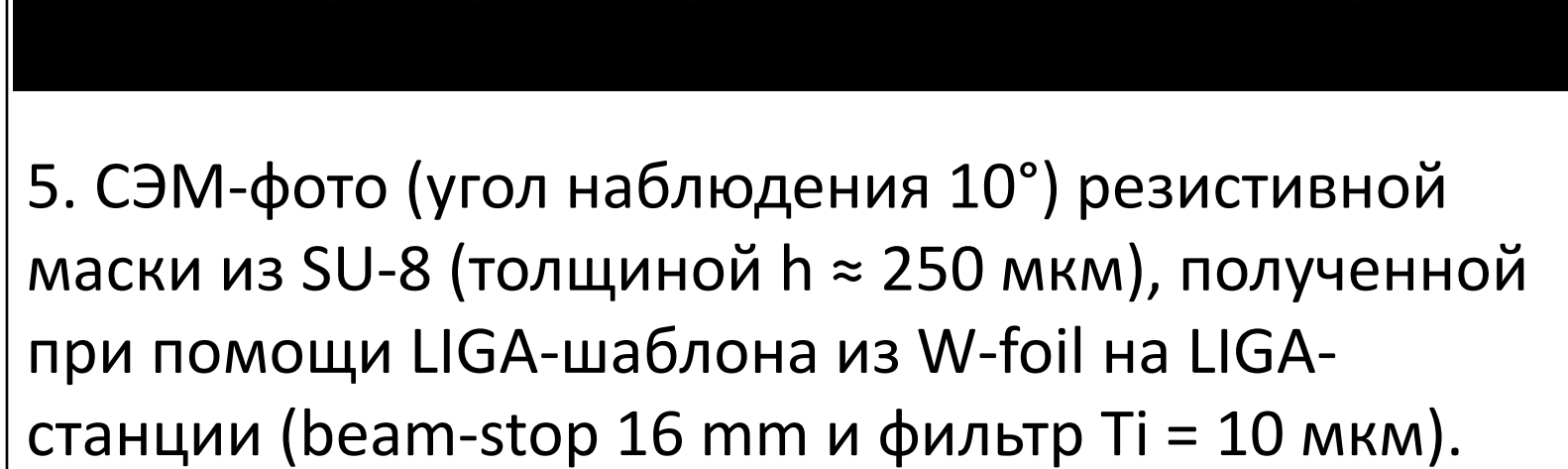
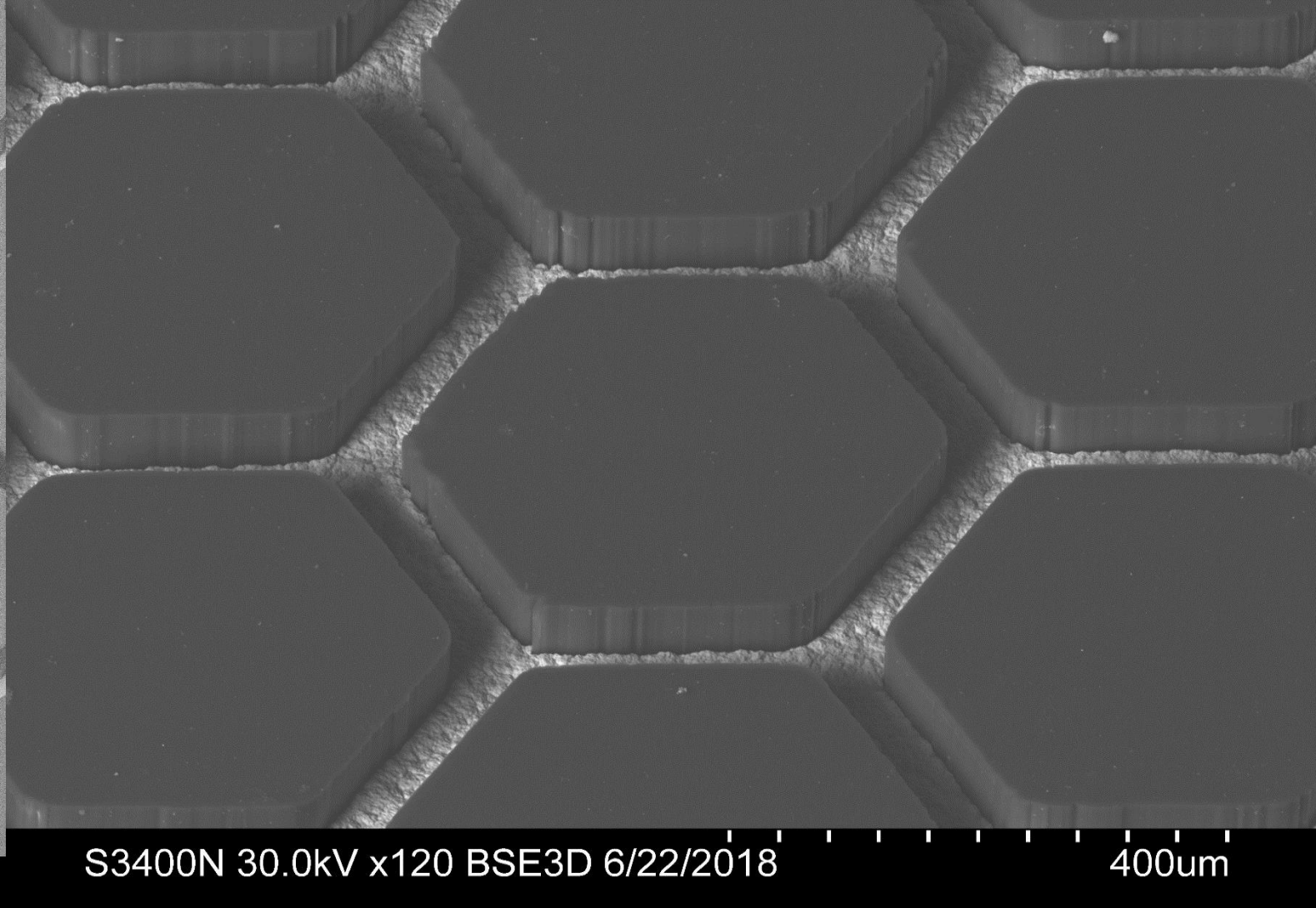
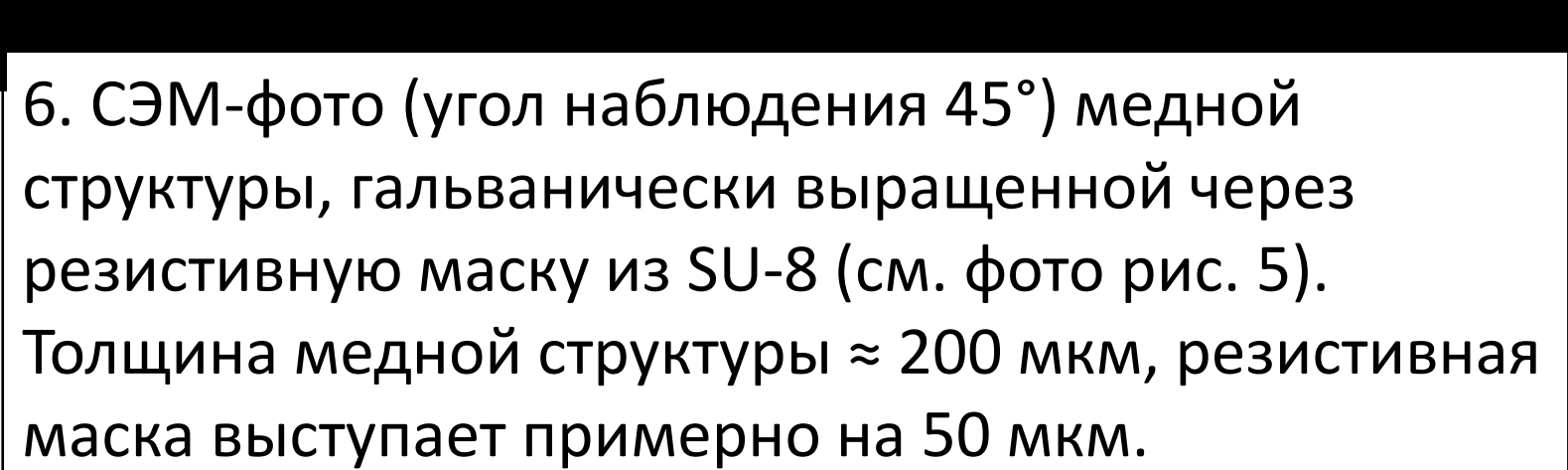
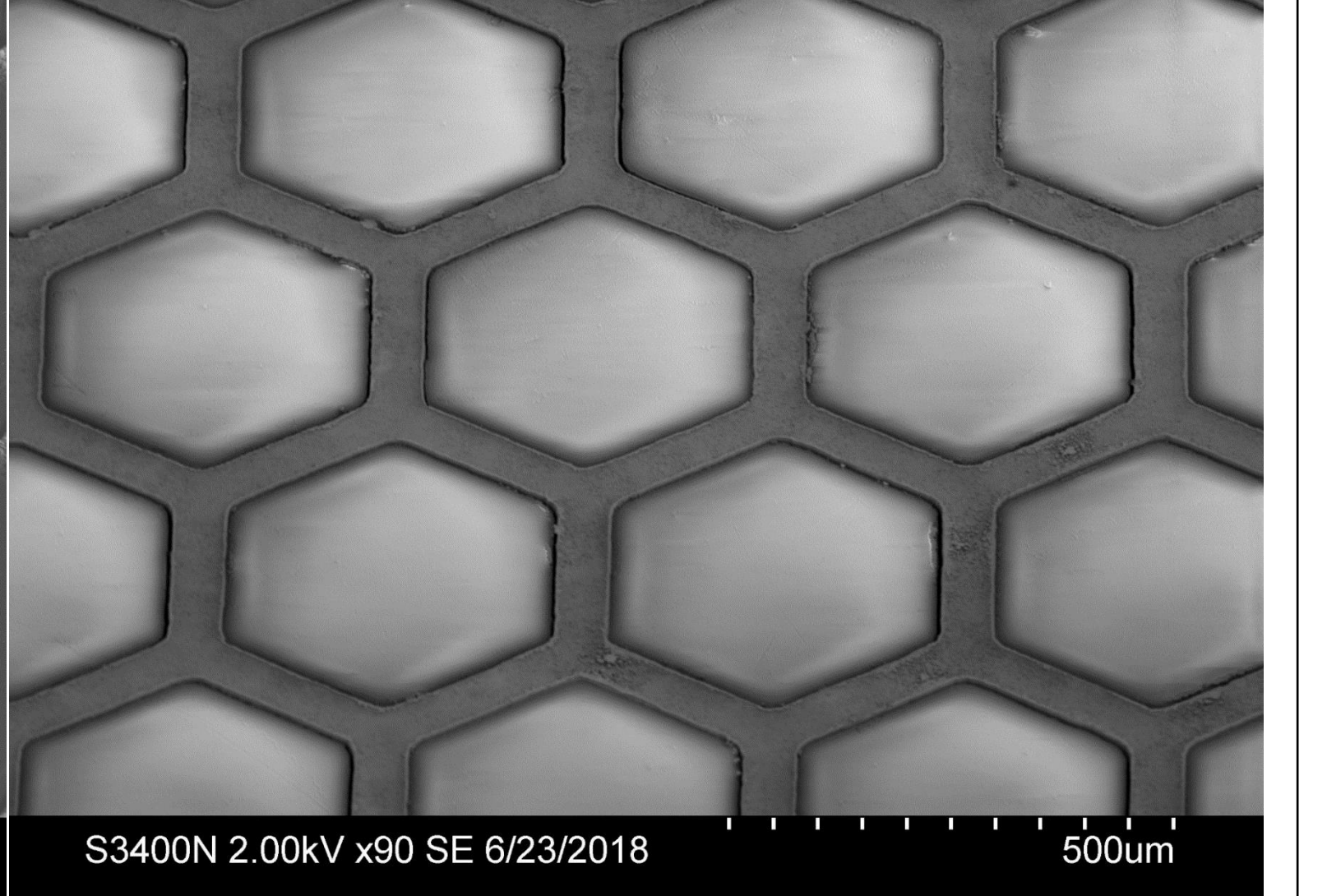
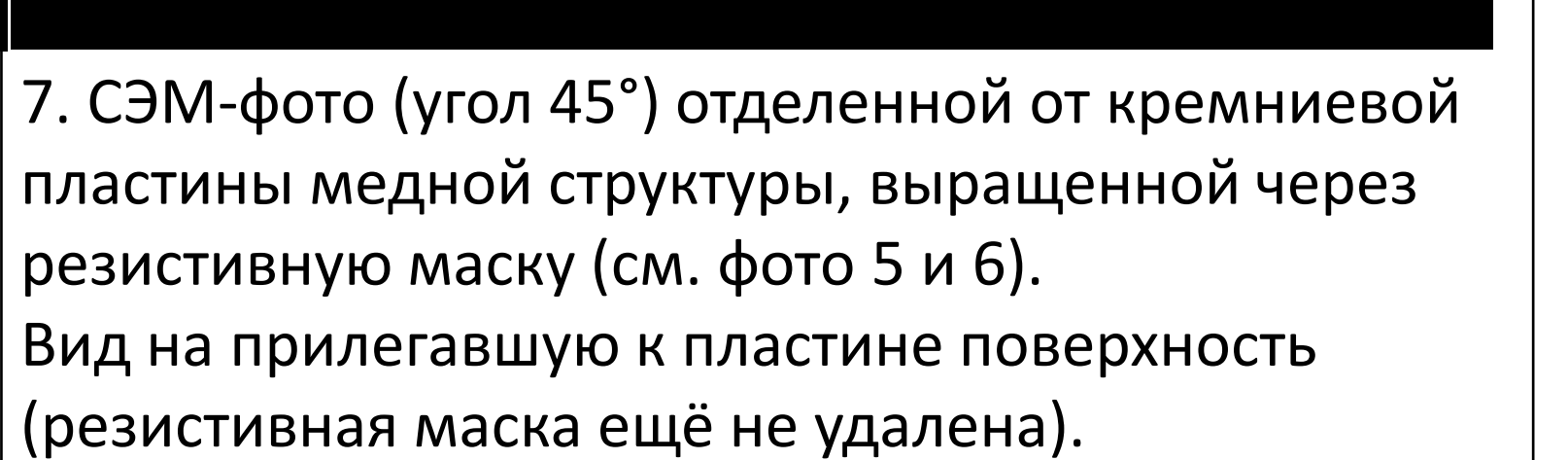


Рис. 1. Спектральные зависимости энергетического коэффициента пропускания нулевой дифракционной гармоники для ММС с шестиугольными отверстиями для различных толщин металла t , рассчитанные в пакете ANSYS® Electromagnetics Suite R18.2 (сплошные линии) и с использованием аналитических формул из теории Ч.-Ч. Чена (штрих-пунктир). Для случая $t = 212$ мкм экспериментально измеренный спектр изготовленной структуры показан линией с точками. $D \approx 450$ мкм, $w \approx 60$ мкм, нормальное падение.

В качестве LIGA-шаблонов при отработке режимов использовались: 1) кинескопная сетка Инвар толщина ≈ 200 мкм Контраст ≈ 4300 2) Кремниевый LIGA-шаблон, толщина Si ≈ 30 мкм, Au ≈ 35 мкм Контраст ≈ 1100 			
LIGA-шаблоны на основе 3) вольфрамовой фольги, толщина $W \approx 15$ мкм, Контраст шаблона ≈ 324. См. доклад №96. 4) танталовой фольги, толщина $Ta \approx 30$ мкм, Контраст шаблона ≈ 2000. См. доклад №96.  Особенность негативного резиста SU-8 состоит в том, что он может частично полимеризоваться при получении им сравнительно небольших экспозиционных доз ($\approx 1\%$ от оптимальной), во избежание чего требуется проводить процесс экспонирования с использованием высококонтрастных LIGA-шаблонов (контраст ≥ 300).	2. СЭМ-фото (угол наблюдения 45°) резистивной маски из SU-8 толщиной $h \approx 250$ мкм, сформированной на поверхности кремниевой пластины с адгезивными подслоями (Ti = 0,5 мкм + Ni=0,02 мкм).  5. СЭМ-фото (угол наблюдения 10°) резистивной маски из SU-8 (толщиной $h \approx 250$ мкм), полученной при помощи LIGA-шаблона из W-foil на LIGA-станции (beam-stop 16 mm и фильтр Ti = 10 мкм). 	3. СЭМ-фото (угол наблюдения 45°) полученной медной сеточной структуры толщиной $h \approx 120$ мкм, после удаления резистивной маски и химического растворения кремниевой пластины в щелочи. Вид со стороны адгезивных подслоев. Наблюдается шелушение подслоев (Ti = 0,5 мкм + Ni=0,02 мкм).  6. СЭМ-фото (угол наблюдения 45°) медной структуры, гальванически выращенной через резистивную маску из SU-8 (см. фото рис. 5). Толщина медной структуры ≈ 200 мкм, резистивная маска выступает примерно на 50 мкм. 	4. СЭМ-фото (угол наблюдения 10°) резистивной маски из SU-8 (толщиной $h \approx 400$ мкм), полученной с использованием LIGA-шаблона... см. стендовый доклад № 96  7. СЭМ-фото (угол 45°) отделенной от кремниевой пластины медной структуры, выращенной через резистивную маску (см. фото 5 и 6). Вид на прилегающую к пластине поверхность (резистивная маска ещё не удалена). 

РЕЗЮМЕ. Кремниевые LIGA-шаблоны с золотым маскирующим слоем, изготавливаемым посредством гальванопластики достаточно контрастны, однако технология их изготовления сложна и трудоёмка, по сравнению с описанной технологией изготовления самонесущих LIGA-шаблонов из промышленно выпускаемых фольг тяжёлых металлов, таких как тантал и вольфрам. Технология изготовления цельнометаллических микроструктурных элементов для управления ТГц-излучением опробована: тонкие элементы могут изготавливаться по технологии изготовления LIGA-шаблонов, а толстые элементов (толщиной до 1 мм) - посредством гальванопластики.

Генцелев Александр Николаевич,
630090, Новосибирск, проспект ак. Лаврентьева, 11
E-mail: ang1209@mail.ru; Тел.: (383) 329-41-38