



Method of fabricating LIGA-masks of a tantalum foil (96)

Author(s): Mr. GENTSELEV, Aleksandr¹

Co-author(s): Dr. DULTSEV, Fedor^{2,3}



- 1) Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia (Budker INP SB RAS)
- 2) Rzhanov Institute of Semiconductor Physics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences;
- 3) Novosibirsk State University

The design and fabrication method for self-supporting mesh structures, used as high-contrast LIGA-masks in x-ray lithography of the wavelength range $\lambda \approx 0,5 \div 3 \text{ \AA}$, are described. The LIGA masks are produced by through-thickness patterning a solid tungsten foil fixed on a supporting ring using reactive ion-beam etching through a resistive mask of a corresponding topology. The LIGA-masks of this type are intended for manufacturing afterwards thick planar metal microstructures playing a role of quasi-optical filters in the terahertz range of the electromagnetic spectrum.

Описаны конструкция и способ изготовления высококонтрастных самонесущих перфорированных (со сквозными отверстиями) сеточных LIGA-шаблонов, используемых в рентгеновском диапазоне длин волн $\lambda \approx 0,5 \div 3 \text{ \AA}$. Способ изготовления основан на использовании фольг тяжелых металлов (танталовой (Ta) и вольфрамовой (W)). Шаблоны характеризуются самонесущей топологией и предназначены для формирования толстых резистивных масок толщиной 100-1000 мкм, в частности, из негативного резиста SU-8, что позволит создавать толстые планарные цельнометаллические микроструктуры, предназначенные для управления потоками электромагнитного излучения терагерцевого диапазона см. стендовый доклад №95. 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 , что соответствует толщинам металла (Ta, W) LIGA-шаблона $\geq 15 \text{ мкм}$ при облучении резиста на LIGA-станции).

Данный способ возник, как продолжение работ по изготовлению LIGA-шаблонов из вольфрамовой фольги (W-фольги), в соответствии с которым исходная заготовка из вольфрамовой фольги толщиной 60 мкм после напыления соответствующих подслоев крепилась посредством диффузионной сварки к медному опорному кольцу. Выбор вольфрама продиктован тем, что он является тяжелым, а следовательно высоко рентгеноконтрастным металлом, который сравнительно хорошо травится в плазме трихлорида бора (BCl_3) и гексафторида серы (SF_6). Топология LIGA-шаблона изготавливалась путём плазмохимического травления вольфрама через толстую ($\sim 95 \text{ мкм}$) резистивную маску из негативного резиста SU-8, сформированную при помощи специализированной установки контактной фотолитографии (рис. 1), где источником актиничного излучения является светодиод с рабочей длиной волны $\lambda \approx 365 \text{ нм}$. Травление производилось на установке плазмохимического травления Plasmalab 80 Plus (рис. 2). Во время этой операции происходит также травление резиста. Соотношение скоростей травления резиста и вольфрама примерно $\sim 4,5$. Травление велось практически до полного стравливания маски. В итоге был получен образец самонесущего сеточного LIGA-шаблона с толщиной вольфрамового маскирующего слоя $\sim 15 \text{ мкм}$. На рис. 3-5 приведены СЭМ-фотографии, иллюстрирующие процесс изготовления LIGA-шаблона из W-фольги. Данный шаблон использовался для отработки технологии изготовления толстых планарных цельнометаллических микроструктур. Через него на LIGA-станции было проведено экспонирование резиста SU-8, нанесенного на кремниевую пластину и были получены резистивные маски толщиной ~ 250 и 400 мкм .



Рис. 1. Установка контактной фотолитографии

Вышеописанная технология имеет недостатки, в частности высокая скорость травления резиста в плазме трихлорида бора (BCl_3) и гексафторида серы (SF_6) из-за чего не удаётся протравить фольгу на полную глубину. Для исключения этого недостатка был разработан простой способ изготовления LIGA-шаблона из промышленно выпускаемой танталовой фольги, описанный в Патенте RU №2721172 на изобретение: «Способ изготовления самонесущего рентгеношаблона» / Генцелев А.Н., Дульцев Ф.Н. - Оpubл. в Б.И., 2020, №14. Танталовая фольга выпускается в более широком ассортименте (в частности нужной толщины $\approx 30 \text{ мкм}$, что обеспечивает контраст шаблона на уровне ~ 2000) и она менее жесткая по сравнению с вольфрамовой фольгой, что актуально при проведении операций контактной фотолитографии.

Данный способ содержит следующие операции:

1. Формирование посредством известных литографических приёмов на поверхности фольги защитной маски из металла с существенно более низкой скоростью травления, чем металл фольги (в соответствующей плазме), например, из алюминия, при этом толщина маски должна обеспечивать сквозное плазмохимическое травление фольги через неё.
2. Фиксация фольги посредством клеящего слоя на металлической шайбе с плоскопараллельными шлифованными поверхностями.
3. Проведение сквозного плазмохимического травления фольги через защитную маску.
4. Освобождение перфорированной фольги путем растворения клеящего слоя.

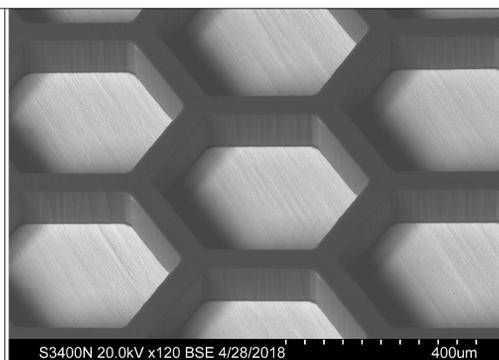
Режим травления танталовой фольги: $p = 10 \text{ мТорр}$, скорости подачи газов: $\text{NF}_3 - 30 \text{ см}^3/\text{мин}$, $\text{Ar} - 10 \text{ см}^3/\text{мин}$; подводимые мощности: $\text{RF} = 100 \text{ Вт}$, $\text{ICP} = 600 \text{ Вт}$, скорость травления тантала $\sim 2 \text{ мкм}/\text{цикл}$ (цикл: травление – 1 мин, охлаждение – 3 мин). скорость травления алюминиевой защитной маски $\sim 1 \text{ нм}/\text{цикл}$.

На рис. 8 и 9 приведены СЭМ-фото, иллюстрирующие финальные стадии изготовления LIGA-шаблона из танталовой фольги.

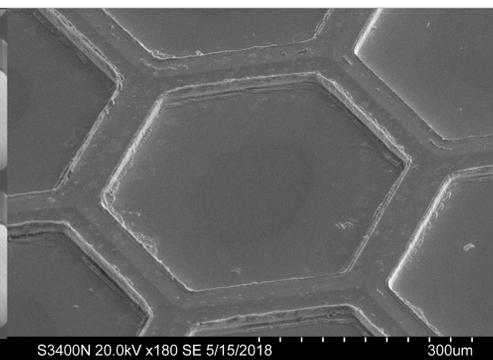
РЕЗЮМЕ. Кремниевые LIGA-шаблоны с золотым маскирующим слоем, изготавливаемым посредством гальванопластики (Патент RU №2716858 на изобретение: «Способ изготовления кремниевого рентгеношаблона» / Генцелев А.Н., Дульцев Ф.Н. - Оpubл. в Б.И., 2020, №8.) достаточно контрастны, однако технология их изготовления сложна и трудоёмка, по сравнению с описанной технологией изготовления самонесущих LIGA-шаблонов из промышленно выпускаемых фольг тяжелых металлов, таких как тантал и вольфрам. Технология изготовления цельнометаллических микроструктурных элементов для управления ТГц-излучением опробована: тонкие самонесущие сетки проще получать по технологии изготовления LIGA-шаблонов, а толстые микроструктурные элементы (толщиной до 1 мм) – следует изготавливать с помощью LIGA-технологии.



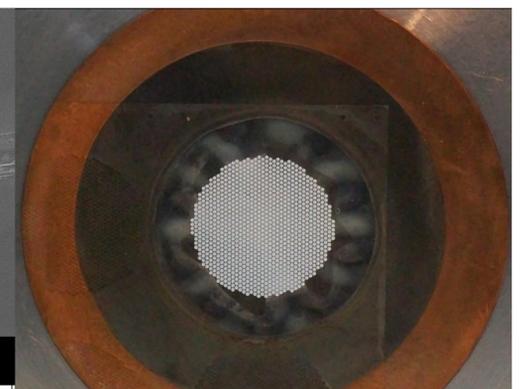
Рис 2. Внешний вид установки Plasmalab 80 Plus плазмохимического травления с источником индуктивно-связанной плазмы ICP Etch.



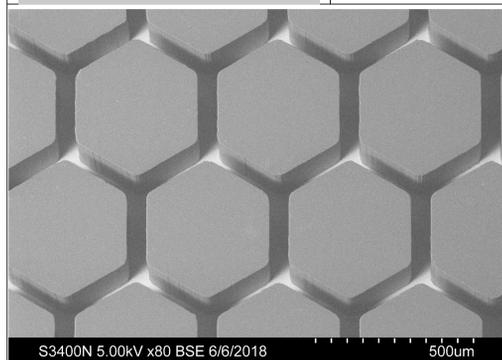
3. СЭМ-фото (угол наблюдения 45°) резистивной маски из SU-8 толщиной $h \approx 95 \text{ мкм}$, полученной контактной фотолитографией на установке Рис. 1.



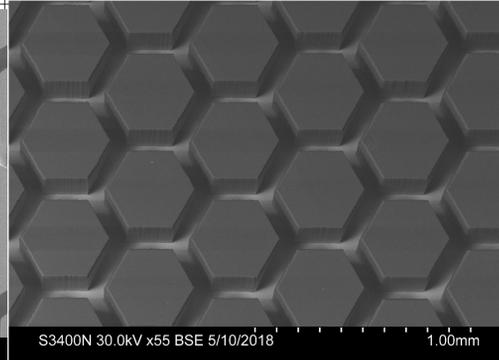
4. СЭМ-фото (угол наблюдения 45°) поверхности вольфрамовой фольги, протравленной на глубину $\approx 21 \text{ мкм}$, через резистивную маску из SU-8.



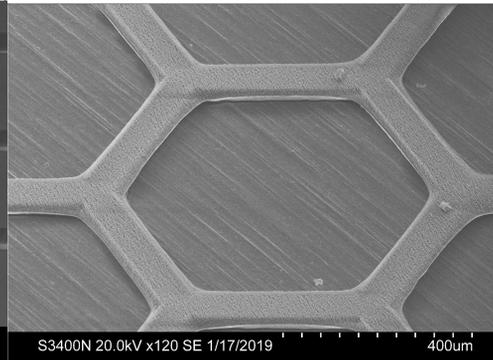
5. Внешний вид самонесущего LIGA-шаблона с сеточной структурой, выполненной из вольфрамовой фольги, итоговая толщина 15 мкм, контраст ≈ 324 (без использования фильтров).



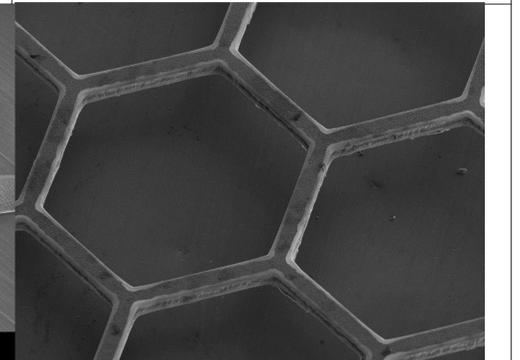
6. СЭМ-фото резистивной маски из SU-8 (толщиной $h \approx 250 \text{ мкм}$, угол набл. 12°), полученной при помощи вольфрамового LIGA-шаблона на LIGA-станции (beam-stop 16 мм, фильтр Ti, толщиной 10 мкм).



7. СЭМ-фото (угол наблюдения 10°) резистивной маски из SU-8 (толщиной $h \approx 400 \text{ мкм}$), полученной с использованием вольфрамового LIGA-шаблона...



8. СЭМ-фото (угол наблюдения 45°) резистивной маски на поверхности Ta-фольги из позитивного резиста SPR 220 (7.0), через которую произведено жидкостное травление напыленного слоя алюминия.



9. СЭМ-фото (угол наблюдения 45°) сеточной сотовой структуры, изготовленной вышеописанным способом из танталовой фольги (толщина $h \approx 30 \text{ мкм}$, ширина перемычек $\approx 55 \text{ мкм}$).