

ГАЛЬВАНОТЕХНИКА И ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

Содержание №2 за 2010 год

Осаждение металлов и сплавов	Разработка химико-гальванических процессов для литографического производства трёхмерных микроструктур. <i>Абрамский А.Ю., Гольденберг Б.Г., Зелинский А.Г., Кондратьев В.И., Корольков В.П., Коронкевич В.П., Маслий А.И., Медведев А.Ж.</i> Электроосаждение покрытий никель-бор из электролитов никелирования с добавкой додека-клозо-додекабората калия. <i>Рогожин В.В., Братцев В.А., Исаев В.В., Наумов В.И.</i> Электроосаждение меди из отработанных щелочных растворов химической металлизации. <i>Плохов С.В., Велиева Ю.В., Корнев Р.А.</i>
Расплавы	Получение диффузионных покрытий никель-самарий методом бестокового переноса в расплаве Li-KCl-SmCl_3 . <i>Елькин О.В., Ковалевский А.В., Чебыкин В.В.</i>
Методы исследования	Влияние наводороживания на пластичность поверхностного слоя гальванического цинкового покрытия на стали 70. <i>Криштал М.М., Еремичев А.А., Караванова А.А., Ибатуллин И.Д.</i>
Экология	Регенерация меди из ванны улавливания после меднения из сернокислого электролита. <i>Виноградова А.В., Кладити С.Ю., Кудрявцев В.Н., Виноградов С.С.</i>
Ответы на вопросы читателей	О «новом» классе покрытий Проблемы при оловянировании О холодном фосфатировании
Хроника	Отчёт о 7-й международной выставке и конференции «Покрытия и обработка поверхности»

УДК 621.357.6; 539.1044

Разработка химико-гальванических процессов для литографического производства трёхмерных микроструктур

**Абрамский А.Ю.², Гольденберг Б.Г.², Зелинский А.Г.¹,
Кондратьев В.И.², Корольков В.П.³, Коронкевич В.П.³,
Маслий А.И.¹, Медведев А.Ж.¹**

Ключевые слова: ЛИГА технология; рентгеновские шаблоны; электроосаждение сплава Re-Ni;
электроосаждение Au; дифракционные элементы линз; гальваническое копирование

Рассмотрены особенности ЛИГА технологии изготовления трехмерных металлических микроструктур различного назначения в Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения. Разработаны процессы электроосаждения сплава рений-никель и золота в качестве поглощающих слоев для рентгеновских шаблонов, а также операции химического серебрения, меднения и никелирования для гальванического копирования дифракционного элемента корректирующей офтальмологической линзы.

Development of Electroless- and Electroplating Processes for Lithographic Production of 3D Microstructures

**Abramskii A.Yu.², Goldenberg B.G.², Zelinsky A.G.¹,
Kondratyev V.I.², Korolkov V.P.³, Koronkevich V.P.³,
Masliy A.I.¹, Medvedev A.Zh.¹**

Keywords: LIGA process; X-ray masks; Re-Ni alloy electrodeposition; Au plating; diffractive elements of lenses; galvanic replication

The paper discusses lithographic and plating processes, which are the major components of LIGA techniques. Fabrication of X-ray masks (XRM) and copying of diffractive optical lens are used as examples.

The fabrication of XRM is an essential initial stage of LIGA-technology for production of any microstructure with deep channels (up to 200 μm) and a high aspect ratio (up to 100:1). An XRM is an X-ray opaque pattern of the future microstructure supported by an X-ray transparent wafer, for example, a glassy carbon one (Fig. 1). Contrast ratios of the XRM to different absorbents were calculated for the radiation source (X-ray synchrotron radiation, a VEPP-3 accelerator, Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS, Novosibirsk), and Re and Au were demonstrated to be the best absorbents (Fig. 2).

The paper reports the results of the electrodeposition of a Re-Ni alloy (90–95 wt % Re) from sulfite and acetate electrolytes onto XRM blanks. In the first case, if current density is 5–10 A/dm², the

average deposition rate is about 8 $\mu\text{m}/\text{h}$, current efficiency 20–30%, and the final coating thickness 20 μm , the coatings are gray, undulating, very high-stressed, and with a continuous network of large microcracks (Fig. 3a). Using an acetate electrolyte allowed to stabilize solution pH during the electrodeposition and to obtain light gray, lower stressed Re-Ni alloy coatings. Nevertheless, microcracks cannot be completely eliminated from a 20- μm -thick cathode deposit even in this case (Fig. 3b).

Gold is a more promising absorbent for XRM. It was deposited onto XRM blanks from sulfite-thio-sulfate and citrate-cyanide electrolytes. As is not the case with Re, both electrolytes yield continuous and dense Au deposits, which ensure the required high contrast (100–150) if they are 20–30 μm thick. A citrate electrolyte produces higher quality and more fine-crystalline Au coatings (Fig. 4).

The central problem in copying the flat diffractive element of an optical lens (Fig. 5) was high

internal stress inside the electrodeposits (especially Ni ones). It results in local separation of the conducting strike layer (chemical silvering) and distortion of the copy microtopography. A flat copy can be obtained with the required accuracy (Fig. 6) in the following way. First, a thick (40–50 μm), low-stressed copper layer is deposited onto a silver under layer.

1. Введение

Одним из актуальных и интенсивно развивающихся направлений современной гальванотехники является использование процесса электроосаждения металлов при производстве широкого круга трехмерных металлических структур. Примерами таких структур являются микро- и наноэлектромеханические устройства [1], большие интегральные схемы и многослойные печатные платы [2], фильтры и управляющие элементы для лазерной техники [3], микрофлюидные тестсистемы для медицины [4] и др. Как правило, подобные микроstructures создаются с помощью так называемой ЛИГА технологии [5], являющейся совокупностью литографических и гальванических операций. С помощью литографии в фоторезисте формируется трехмерная заготовка будущей микроstructures, а с помощью гальванотехники в определенные ее места локально осаждается требуемое функциональное покрытие. В зависимости от конкретной задачи (глубины и аспектного отношения заполняемых покрытием каналов, их минимальных размеров, заданной точности изготовления и т.д.) используются различные виды литографии с применением излучения в широком спектральном диапазоне. В частности, для создания микроstructures с высоким аспектным отношением и высоким разрешением необходима рентгеновская литография. Дополнительные преимущества (высокую интенсивность и малую расходимость пучка) можно получить при использовании для литографии рентгеновского диапазона синхротронного излучения (СИ) ускорителей. Именно поэтому исследования по разработке ЛИГА процессов и производству 3D-микроstructures различного назначения ведутся в созданном на базе ИЯФ СО РАН Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения (СЦСТИ) [6]. Информация о результатах работ в этом направлении и примерах решения некоторых задач является целью данной статьи.

2. Изготовление рентгеновских шаблонов

Получение рентгеновских шаблонов (РШ) является обязательной стадией изготовления лю-

After that, the flat copper copy is separated from the original (together with the under layer), and a thin (1–2 μm) functional Ni layer is deposited onto its face from a sulfamate electrolyte.

The study was conducted under integration project No. 55 of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences “X-ray LIGA Techniques for Synthesis of 3D Diffraction Structures.”

бой достаточно толстой и высоко аспектной микроstructures. РШ представляет собой непрозрачный рисунок из поглощающего рентгеновское излучение материала на прозрачной для используемого излучения подложке [7]. Как правило, для создания РШ высокого разрешения и изготовления микроstructures с большим аспектным отношением используется сложная многостадийная технология с получением промежуточного шаблона методами ультрафиолетовой или лазерной литографии. В последующем с использованием промежуточного шаблона и рентгеновской литографии в «мягком» спектре СИ ($\lambda \sim 12 \text{ \AA}$) получают рабочий РШ.

При изготовлении многих практически важных микроstructures (фильтров для терагерцового излучения, микрофлюидных систем, микроstructuresтурированных оптических элементов и т.д.) характерны критические размеры более 10 мкм. В этом случае РШ высокого разрешения не требуются. Поэтому для изготовления подобных микроstructures в СЦСТИ разработан более простой одностадийный процесс изготовления РШ с использованием глубокой рентгеновской литографии и высокочувствительного фоторезиста SU-8 [8].

2.1. Формирование 3D-микроstructures в фоторезисте

В качестве основного материала подложек при изготовлении РШ в СЦСТИ используется стеклоуглерод. Он практически прозрачен для применяемого диапазона излучения ($\lambda = 0,3\text{--}3 \text{ \AA}$), имеет хорошую электропроводность и высокие физико-механические характеристики, стоек к термическим, радиационным и химическим воздействиям. Для улучшения сцепления стеклоуглерода с резистом, а впоследствии и с осаждаемым в вытравленные каналы поглощающим слоем металла, поверхность углеродных пластин предварительно механически шлифовали и с целью последующего формирования резистивных структур на нее методом центрифугирования наносили равномерный слой негативного фоторезиста SU-8 заданной толщины (30–100 мкм) с последующим его отжигом.

Экспонирование фоторезиста проводилось фотолитографическим способом, а также с