

Уменьшенная копия Стоунхенджа, полученная протонной литографией [1].

ФИП литография

Литография (от греческих «lithos» - камень и «grapho» - пишу, рисую) была создана в 1798 году Алоизием Зенефельдером в Богемии, и это была первая принципиально новая техника печати после изобретения гравюры в XV веке [2]. Литография как метод передачи изображения активно использовалась для размножения карт местности и схем городов. В технологии производства микросхем литографию можно определить как технологический этап, позволяющий за один цикл, с заданной точностью,

изготавливать серию плоских деталей по оригинальному шаблону.

Технология литографии с использованием фокусированных ионных пучков (ФИП) начала разрабатываться более 30 лет назад. Использование понятия «литография» в ФИП технологии связано с тем, что «литография» в настоящее время ассоциируется в первую очередь с производством микросхем, и лишь затем с техникой печати использующей шаблоны. В действительности, ФИП литография заключается в последовательном локальном или объемном нанесении или удалении проводящих контактов или слоев диэлектрика из слоя резиста или в уже существующих элементах микросхем. Причем при нанесении или удалении объектов используются лишь «виртуальные шаблоны», представляющие собой электронные файлы с координатами перемещения манипулятора образца.

В середине 70-х годов XX века учеными разрабатывались несколько приборов ФИП, различающихся источником ионов. Наиболее удобными в использовании оказались приборы с жидкометаллическими источниками ионов на основе сплава Au-Si-Be и Ga. Основные их преимущества проявлялись во времени работы источника, не менее 500 часов, и стабильности потока ионов, колебание тока пучка находится в интервале 1%. В конце 80-х

начале 90-х годов XX века были проведены основные исследования возможности применения устройств с фокусированным ионным пучком и жидкометаллическими источниками в технологии производства микросхем [3]. Ученые получили новые резисты, чувствительные к воздействию потока ускоренных ионов, усовершенствовали дозаторы для подведения веществ, разлагающихся под действием ускоренных ионов. В качестве примеров возможностей технологии ФИП на рис. 1 приведена микрофотография периодически повторяющихся плоскостей, толщиной около 100 нм, полученных обработкой резиста SAL601-ER7 пучком ускоренных ионов Be^{+2} [4], а на рис. 2 представлена микрофотография нанопроволок Au, диаметром около 100 нм, полученных в результате разложения металлоорганических соединений золота под воздействием потока ускоренных ионов Ga^{+} [5]. Некоторые из известных химических соединений и методов ФИП литографии используемых для нанесения и травления веществ приведены в [3].

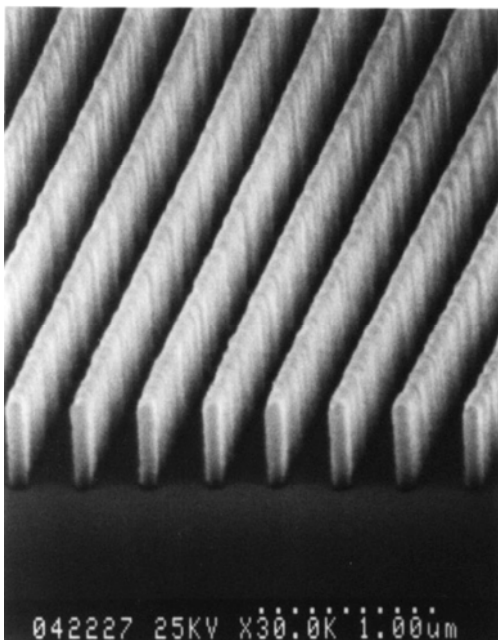


Рис. 1. РЭМ микрофотография упорядоченной структуры, полученной с использованием резиста SAL601-ER7 и фокусированного пучка ускоренных ионов Be^{+2} с энергией 260 кЭв [4].

Со временем галлиевые жидкометаллические источники ионов вытеснили остальные, в системах ФИП стали использоваться сравнительно невысокие энергии пучка ионов (не более 60 кэВ), т.к. увеличение ускоряющего напряжения практически не увеличивало глубину проникновения ионов в образец, но значительно усложняло прибор. В связи с чем ФИП устройства с источниками относительно тяжелых ионов галлия могут использоваться исключительно для модификации поверхности объектов. В 2003 году была опубликована статья исследователей из Сингапура о создании прототипа системы с высокоэнергетичным (до 2 МэВ) фокусированным пучком протонов [6]. В отличие от тяжелых ионов металлов, высокоэнергетичные протоны проникают вглубь образца практически не рассеиваясь, что позволяет получать трехмерные объекты в одном слое резиста меняя время экспозиции и энергию пучка протонов. Экспериментально установлено, что методами протонной ФИП технологии с использованием негативного резиста SU8 можно получить трехмерные детали с толщиной стенок 60 нм и высотой 10 мкм, для сравнения, используя жидкометаллические ФИП системы в многослойном образце $AlF_3/GaAs$ можно сделать углубление шириной 8 нм и глубиной 50 нм, а в алмазе шириной 20 нм и глубиной 400 нм [1].

Несмотря на колоссальные достижения в технологии получения фокусированных ионных пучков, модификации вакуумных систем электронных и ионных микроскопов для работы в низком вакууме и автоматизации высокоточных манипуляторов образцов, системы с фокусированными ионными пучками не смогли заменить в производстве микросхем процесс фотолитографии. Однако, они стали незаменимым инструментом в производстве масок для фотолитографии, исправления контактов на дефектных чипах, а также в процессах отладки экспериментальных микросхем.

Литература.

1. Watt F., Bettiol A.A., Van Kan J. A., Teo E. J. and Breese M. B. H., Ion Beam Lithography and Nanofabrication: a Review // International Journal of Nanoscience, 2005, Vol. 4, No. 3, pp. 269–286.
2. <http://ru.wikipedia.org>.
3. Matsui S. and Ochiai Y., Focused ion beam applications to solid state devices // Nanotechnology, 1996, No. 7, pp. 247–258.
4. Matsui S., Kojima Y., Ochiai Y. and Honda T., High-resolution focused ion beam lithography // Journal of Vacuum Science and Technology B, 1991, Vol. 9, Issue 5, pp. 2622 – 2632.
5. Wargner A., Levin J.P., Mauer J.L., Blauner P.G., Kirch S., Jand Longo P., X-ray mask repair with focused ion beams // Journal of Vacuum Science and Technology B, 1990, Vol. 8, Issue 6, pp. 1557– 1564.
6. Van Kan J. A., Bettiol A. A. and Watt F., Three-dimensional nanolithography using proton beam writing // Applied Physics Letters, 2003, Vol. 83, Issue 8, 1629 – 1631.

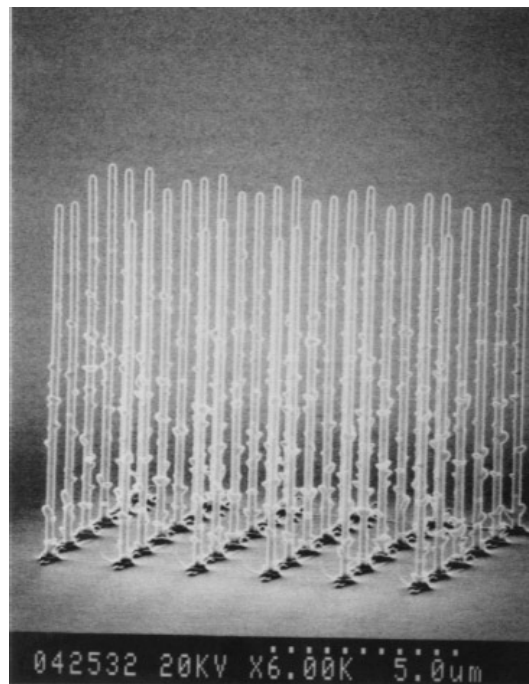


Рис. 2. Изображение структуры, полученной осаждением золота фокусированным пучком ионов Ga^+ энергией 100 кэВ [4].