

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАСКИРУЮЩИХ СЛОЕВ МОЛИБДЕНА, СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ

Полетаев С.Д.

Институт систем обработки изображений РАН,

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва

(национальный исследовательский университет)

Аннотация

Рассмотрено формирование структур субмикронного размера на подложках из плавленного кварца при помощи метода лазерной записи с последующим ионно-реактивным травлением в индуктивно связанной плазме. В качестве масок использовались плёнки молибдена толщиной 30–40 нм.

Ключевые слова: индуктивно связанная плазма, дифракционный оптический элемент, лазерная запись.

Введение

Плазменное или «сухое» травление позволяет изготовить профиль в любом материале с характеристиками, недостижимыми для обычного жидкостного травления. Это обусловлено возможностями анизотропного режима травления материала, высокой управляемостью и стабильностью технологических процессов при «сухом» травлении [1]. Плазменное травление применяется для решения широкого класса задач по формированию рельефа в области микроэлектроники и дифракционной оптики. Сюда относятся оптоэлектроника, СВЧ технология, микроэлектромеханические устройства (MEMS), капиллярные чипы, дифракционные решётки и датчики различных типов [2].

Для решения всех этих задач существуют различные типы установок для реализации плазменного травления (плазма на электронном циклотронном резонансе, сурфатрон, источник с индуктивно связанной плазмой ICP), отличающиеся друг от друга способом возбуждения плазмы [2]. Из всех этих типов наиболее распространённым является травление с источником индуктивно связанной плазмы (ICP). Источники ICP плазмы обладают рядом преимуществ перед другими способами. Это относительная простота конструкции, более низкая стоимость такого оборудования, отсутствие генераторов СВЧ излучения, возможность достижения больших скоростей травления, необходимых для реализации рельефа глубиной в несколько сотен микрометров. Последнее преимущество очень важно для изготовления MEMS устройств. Кроме этого, в установках такого типа существует возможность независимого управления мощностью разряда и напряжением смещения на подложке. А это, в свою очередь, даёт возможность независимо управлять химической (реактивной) и физической (ионной) составляющими процесса травления, что дополнительно расширяет возможности оборудования этого типа.

Одной из важных сторон технологии плазменного травления является применение стойких маскирующих слоев, способных обеспечить необходимую глубину формируемых структур. Кроме этого, для производства дифракционных решёток, работающих

в ультрафиолетовом диапазоне длин волн, необходим размер структур менее 0,6 мкм. Одним из способов для формирования топологии элемента является лазерная термохимическая запись на тонких плёнках хрома [3]. Но эта технология в стандартном исполнении обеспечивает размер элемента не менее 0,7–0,8 мкм для длины волны записывающего устройства 488 нм. Поэтому существует проблема, заключающаяся в преодолении этого барьера. В литературе для этого предлагаются различные способы. Например, в работе [4] была достигнута ширина линии 0,5 мкм за счёт снижения толщины плёнок хрома, нанесённых термохимическим способом. В патенте [5] была достигнута ширина линии 0,4 мкм за счёт применения тонких плёнок титана.

В настоящей работе исследуются маскирующие слои молибдена на предмет возможности достижения размера линии, сравнимого с дифракционным пределом в половину длины волны (0,25 мкм) при лазерной записи. Были получены структуры с размером элемента 0,25–0,3 мкм и глубиной, превышающей 100 нм.

Методы и материалы

Эксперименты проводились на оптически гладких подложках из плавленного кварца (марка KB), размером 50×50×3 мм. На них магнетронным способом наносились плёнки молибдена толщиной 35–40 нм на установке «Каролина Д12-А». Затем подложки структурировались на станции лазерной записи CLWS-200. Длина волны лазерного излучения – 488 нм. На плёнках молибдена формировалась топология элемента в виде кольцевых структур с периодом 3 мкм. Мощность лазерного луча уменьшалась от 100 мВт к 0 с шагом 0,5% для каждого кольца. Формирование рельефа проводилось на установке ионно-реактивного травления в индуктивно связанной плазме «Каролина PE15» с частотой возбуждающего тока 13,56 МГц и мощностью 1 кВт. Подложки размещались на дюралюминиевом столике. ВЧ сигнал от генератора подавался на индуктор, расположенный внутри рабочей камеры. Сверху индуктор закрывался защитным кварцевым колпаком, предохраняющим его от травления. Воздух откачивался из камеры турбомолекулярным насосом (ско-

рость откачки 800 л/с). После плазменного травления остатки плёнок молибдена удалялись в растворе $\text{NaOH} + \text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Измерения параметров микрорельефа проводились на сканирующем зондовом микроскопе (СЗМ) Solver-pro и сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Supra 25 фирмы Karl Zeiss.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 изображён СЗМ профиль рельефа, полученный с применением молибденовых плёнок. Высота рельефа – 120 нм. Ширина линии – 294 нм. Травление проводилось при следующих условиях: расход CF_4 – 3 л/час, мощность, подводимая к ICP источнику – 400 Вт, мощность, подводимая к столику с подложкой – 150 Вт, продолжительность травления – 10 мин. Полученный результат для ширины линии подтверждается СЭМ снимком поверхности подложки с плёнкой молибдена, полученным перед плазменным травлением (рис. 2). Изображение получено в области образца, где энергия воздействия лазерного луча была приблизительно 250 мВт/мкм². Ширина линии – 253 нм. Вокруг линий видны более светлые участки, характеризующиеся выбросом материала. Этот же результат наблюдался на СЗМ снимке, полученном перед травлением (здесь не приводится). По мере травления эти образования исчезают (рис. 1). Объяснить их появление можно, если учесть, что лазерный луч в сечении имеет гауссово распределение плотности мощности [3]. В центральной области луча, где плотность мощности максимальна, происходит полная сублимация материала, в результате чего формируется рельеф. На периферийных участках луча, где плотность мощности минимальна, энергии недостаточно для сублимации материала. И вероятно, в этой области наблюдается окисление молибдена [6]. Окисление металла сопровождается ростом толщины плёнки [3, 5]. Также на химические превращения указывает тот факт, что за 10 минут травления плёнка молибдена ещё оставалась, хотя при тех же самых условиях травления время до полного удаления исходных плёнок, не подвергнутых воздействию лазерного луча, не превышало 20 сек.

Также существует возможность дальнейшего повышения разрешающей способности элементов, изготавливаемых по данной технологии, за счёт уменьшения толщины маскирующего слоя молибдена. Для проверки этого утверждения необходимы дальнейшие исследования.

Заключение

Важной задачей в области синтеза дифракционных оптических элементов с применением метода лазерной записи является достижение размера структур менее 0,6 мкм. При решении этой задачи нами получен рельеф с шириной линии 0,25–0,3 мкм и глубиной, превышающей 100 нм. Показана возможность повышения разрешающей способности метода за счёт применения молибденовых

маскирующих слоёв. Воздействие лазерного луча приводит к повышению плазмостойкости плёнок молибдена в 30 раз, селективность травления кварца при этом резко возрастает.

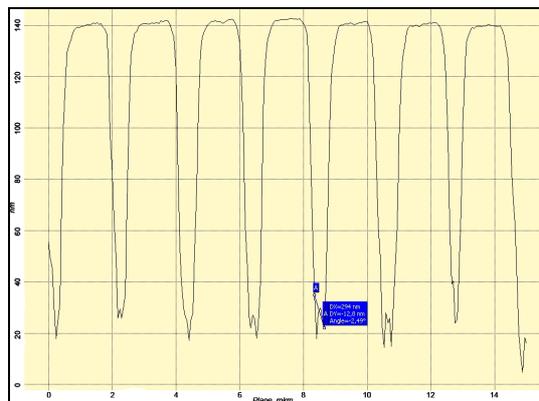


Рис. 1. Сечение (профиль) бинарного рельефа, сформированного с применением молибденовой маски. Снимки получены на СЗМ Solver Pro

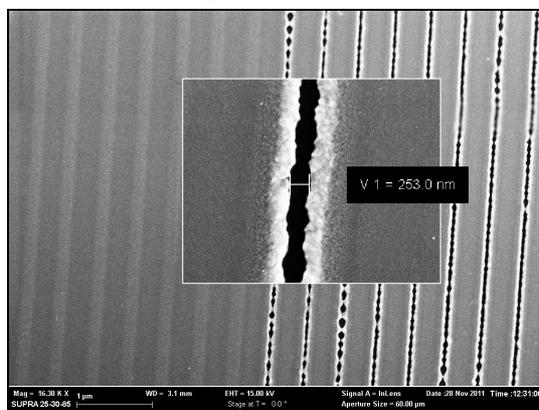


Рис. 2. СЭМ снимок поверхности плёнки молибдена после лазерной записи

Благодарности

Работа поддержана Целевой программой Президиума РАН «Поддержка молодых учёных» на 2011–2012 гг.

Литература

1. **Волков, А.В.** Исследование технологии плазменного травления для получения многоуровневых дифракционных оптических элементов / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, О.Е. Рыбаков // Компьютерная оптика. – 1998. – Т. 18. – С. 127–130. – ISSN 0134-2452.
2. **Zeze, D.A.** Reactive ion etching of quartz and Pyrex for microelectronic application / D.A. Zeze, R.D. Forrest, J.D. Carey, D.C. Cox, I.D. Robertson, B.L. Weiss, S.R.P. Silva // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol. 92, N 7. – P. 3624–3629.
3. **Вейко, В.П.** Исследование пространственного разрешения лазерной термохимической технологии записи дифракционных структур / В.П. Вейко, В.И. Корольков, А.Г. Полещук, А.Р. Саметов, Е.А. Шахно, М.В. Ярчук // Квантовая электроника. – 2011. – Т. 41, № 7. – С. 631–636.
4. **Агафонов, А.Н.** Анализ зависимости разрешающей способности технологии локального термохимического окисления от параметров структуры светочувствительной плёнки хрома / А.Н. Агафонов, О.Ю. Моисе-

- ев, А.А. Корлюков // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, № 1. – С. 101-108. – ISSN 0134-2452.
5. Verfahren und Anordnung zur Erzeugung von Strukturen im Submikrometerbereich. – 05.06.1997. – N 19544295.
 6. **Heise, G.** Laser ablation of thin molybdenum films on transparent substrates at low fluences / G. Heise, C. Hellwig, T. Kuznicki, S. Sarrach, H.P. Huber // J. Appl. Phys. A. – 2011. – Vol. 102. – P. 173-178.

References

1. **Volkov, A.V.** Research of technology of plasma etching for receiving multilevel diffraction optical elements / A.V. Volkov, N.L. Kazansky, O.E. Rybakov // Computer optics. – 1998. – T. 18. – P. 127-130. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
2. **Zeze, D.A.** Reactive ion etching of quartz and Pyrex for microelectronic application / D.A. Zeze, R.D. Forrest, J.D. Carey, D.C. Cox, I.D. Robertson, B.L. Weiss, S.R.P. Silva // J. Appl. Phys. – 2002. – Vol. 92, N 7. – P. 3624-3629.
3. **Veyko, V.P.** Research of spatial permission of laser thermochemical technology of record of diffraction structures / V.P. Veyko, A.G. Poleshchuk, A.R. Sametov, E.A. Shakhno, M.V. Yarchuk // Quantum electronics. – 2011. – Vol. 41, N 7. – P. 431-34. – (In Russian).
4. **Agafonov, A.N.** The analysis of dependence of resolution of technology of local thermochemical oxidation from parameters of structure of a photosensitive film of chrome / A.N. Agafonov, O.Yu. Moiseyev, A.A. Korlyukov // Computer optics. – 2010. – Vol. 34, N 1. – P. 101-108. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
5. Verfahren und Anordnung zur Erzeugung von Strukturen im Submikrometerbereich. – 05.06.1997. – N 19544295.
6. **Heise, G.** Laser ablation of thin molybdenum films on transparent substrates at low fluences / G. Heise, C. Hellwig, T. Kuznicki, S. Sarrach, H.P. Huber // J. Appl. Phys. A. – 2011. – Vol. 102. – P. 173-178.

RESEARCH OF RESOLUTION OF MASKING LAYERS OF THE MOLYBDENUM STRUCTURED ON TECHNOLOGIES OF LASER THERMOCHEMICAL RECORD

S.D. Poletayev

Image Processing Systems Institute of the RAS,

S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University)

Abstract

The question of formation of structures of the submicronic size on substrates from fused quartz by means of a method of laser record with the subsequent ion reactive etching in inductively connected plasma is considered. Process was carried out with application of films of molybdenum in thickness of 30-40 nm. Within work on films of molybdenum the size of structures of 0,25–0,3 microns was reached.

Key words: inductively coupled plasma, diffraction optical element, laser record.

Сведения об авторе



Полетаев, Сергей Дмитриевич, 1985 года рождения, в 2011 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (СГАУ) по специальности 210201.65 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», работает инженером в СГАУ, аспирант кафедры Наноинженерии. Область научных интересов: технология производства дифракционных оптических элементов.

E-mail: sergpolet@gmail.com.

Sergey Dmitriyevich Poletayev, the 1985th year of birth, in 2011 ended Samara state space university a name of academician S.P.Korolyova (SSAU) in the specialty 210201.65 «Design and technology of radio-electronic means», the graduate student of chair of Nanoengineering works as the engineer in SSAU. Area of scientific interests: production technology of diffraction optical elements.