

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ДОЭ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

А.В. Волков, Н.Л. Казанский, Г.Ф. Костюк, С.А. Костюкевич, П.Е. Шепелявий**
Институт систем обработки изображений РАН,
Институт физики полупроводников Национальной Академии Наук Украины*.

Особое внимание специалистов в области дифракционной оптики привлекают технологии формирования микрорельефа, основанные на достижениях и оборудовании микроэлектроники [1]. Определяющими в таком выборе являются следующие основные факторы:

- близость геометрических размеров ДОЭ и микросхем;
- близость требуемых характеристик пространственного разрешения;
- высокий уровень автоматизации микроэлектронного оборудования и возможность реализации на нем сложных топологий зон;
- возможность получения многих градаций фазового микрорельефа;
- наличие множества технологических участков микроэлектроники и возможность аренды оборудования;
- высокая степень надежности технологических автоматов и повторяемость результатов;
- возможность использования материалов, имеющих в микроэлектронике (субстраты, резисты и т.п.);
- наличие автоматизированных средств контроля результата.

Высокая степень автоматизации технологических операций микроэлектроники позволяет говорить об автоматизированном проектировании дифракционного микрорельефа оптических элементов. Такое проектирование включает в себя не только выбор специальных методов, учитывающих технологические ограничения, но и возможность итерационной оптимизации важнейших параметров ДОЭ на основе анализа результатов контроля качества получаемого микрорельефа и эффективности рабо-

ты ДОЭ в оптической схеме. При этом выбор размера, формы, используемого материала, пространственного разрешения проектируемого микрорельефа (и соответственно выбор технологий) определяется как задачами, стоящими перед ДОЭ, так и оптическим диапазоном работы ДОЭ. Например, возможные границы пространственного разрешения дифракционной решетки могут лежать в пределах от $0,25 \text{ мм}^{-1}$ в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах и до 1200 мм^{-1} в ультрафиолетовом.

В настоящее время для формирования дифракционного микрорельефа апробировано и отлажено множество технологий с использованием самых разнообразных (физически, химически, механически) активных сред: фокусируемых электронных и ионных пучков, газов, кислот, резистов, полимерных композиций, алмазных резцов. При этом разные технологии требуют создания разных шаблонов: наборов бинарных фотомасок для фоторезистов и фотолитографии, полутонковых фотошаблонов для жидких фотополимеризующихся композиций (ЖФПК) и отбеливания желатины, тонкопленочной пленки для рентгеновской литографии или маски-трафарета для использования ионнолучевой литографии. При использовании полутонковых шаблонов и соответствующих технологий формирование кусочно-непрерывного микрорельефа происходит в один этап. При использовании набора бинарных шаблонов и соответствующих «бинарно-активных» сред для получения многоуровневого рельефа этот процесс, приходится повторять несколько раз, перебирая по очереди все шаблоны из набора.

Методы формирования микрорельефа ДОЭ, освоенные в ИСОИ РАН, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Метод	Материалы	Высота ступеньки
Жидкостное травление	Стекло	0,1-5 мкм
Плазмохимическое травление	Стекло, кварц, Si	0,1-5 мкм
Послойное наращивание фоторезиста	ФП051, ФП351	0,2-1,5 мкм
Послойное травление тонких пленок	Cr, Cu, Al, Nb, Ta	0,1-5 мкм
Темновой рост в слоях ЖФПК	ЖФПК	1,0-100 мкм

При использовании любого из перечисленных методов, формирование микрорельефа ДОЭ базируется на использовании светочувствительных материалов, разрешающая способность которых не выше 1000 лин./мм .

В настоящей работе представлены результаты формирования микрорельефа с использованием халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП), имеющих разрешения свыше 5000 лин./мм .

К группе халькогенидных стеклообразных полупроводников, или как их иногда называют, халькогенидных стекол, относят бинарные или многокомпонентные халькогениды, т.е. сульфиды, селениды и теллуриды элементов V, IV, и III групп периодической системы элементов. Наиболее типичными бинарными ХСП являются трехсернистый мышьяк As_2S_3 и трехселенистый мышьяк As_2Se_3 . Вместе с тем к числу ХСП относятся халькогениды фосфора,

мышьяка, сурьмы, висмута, германия, кремния и таллия.

Для формирования дифракционного микрорельефа халькогенидные стеклообразные полупроводники целесообразно использовать в виде пленок и важнейшими из требований предъявляемых к ним является стабильность параметров (воспроизводимость общего состава исходного материала и однородность пленки по составу, структура и дисперсность). При этом дисперсность, определяемая технологией получения пленок ХСП, должна быть сведена к минимуму. Из существующих способов нанесения пленок - термическое испарение в вакууме, катодное распыление, мгновенное испарение, разложение в газовой фазе, химическое и электролитическое осаждение и др. - для бинарных составов применяют главным образом три первых метода, а наиболее простым из них является термовакуумное напыление [2,3].

ХСП отличаются рядом уникальных свойств, одним из которых является фотоселективное растворение. Впервые фотоселективное растворение было обнаружено на стеклообразном As_2S_3 . [4]. После соответствующей засветки и проявления в растворе щелочи вакуумно нанесенные слои As_2S_3 давали изображение, нерастворимое в кислоте. Была отмечена так же возможность получения позитивного и негативного изображения в зависимости от типа проявителя. Облученные участки пленок As_2S_3 растворяются в диметилаmine быстрее, чем необлученные, в то время как облученные участки пленок As_2S_3 , P_2Se_3 , As_2Se_7 растворяются в соответствующих растворителях значительно медленнее необлученных. Первый случай можно назвать положительным, а второй - отрицательным эффектом фотостимулированного изменения растворимости. Другими словами, пленка As_2S_3 ведет себя в данном случае как позитивный, а остальные пленки - как негативные фоторезисты.

В литературе [5,6] сообщалось об использовании для формирования синтезированных голограмм и киноформов в слоях ХСП путем соответствующей обработки пленок As_2S_3 . Вакуумно-напыляемые слои ХСП являются весьма перспективными резистами для лазерной литографии, например, для создания разметочной рельефной микроструктуры оптического информационного диска-оригинала [7].

В качестве примера использования ХСП для создания микрорельефа ДОО в данной работе представлены результаты по формированию рельефной микроструктуры в кварцевой подложке с использованием лазерной литографии на основе резистного слоя As_2S_3 . Опытные образцы готовились путем последовательного термического напыления в вакууме при остаточном давлении $<10^{-3}$ Па на кварцевую дисковую подложку слоя хрома толщиной 80 нм и слоя As_2S_3 толщиной 150 нм. Экспонирование резистного слоя осуществлялось на установке для форматирования подложки оптического диска с шагом 3,2 мкм. В установке использовался лазер ЛТН-402 ($\lambda=532$ нм) остросфокусированное излучение которого попадало на вращающуюся с частотой 10 Гц

дисковую подложку. Диаметр сфокусированного пучка по уровню $0,5 I_0$ (I_0 – интенсивность излучения в максимуме Гауссова распределения) составлял около 1 мкм, мощность излучения на выходе микрообъектива $P=2,5$ мВт. После экспонирования слоя As_2S_3 производилось его проявление в селективном травителе негативного типа на основе этилендиамина [8]. При этом неэкспонированные участки резистного слоя полностью удалялись, а экспонированные оставались на подложке образуя защитную маску (рис. 1) для травления слоя хрома, которое осуществлялось в цериевом травителе [9].

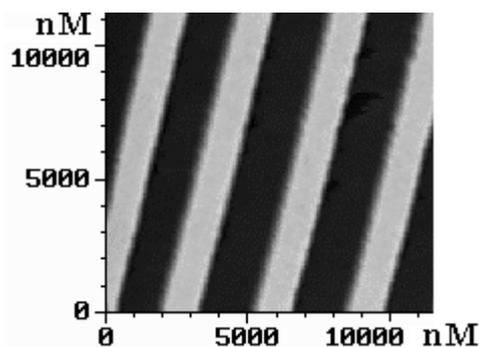


Рис.1. Фрагмент топологии резистной маски на основе As_2S_3 .

После удаления резистного слоя на поверхности подложки оставалась хромовая контактная маска с помощью которой формируется микроструктура элемента (рис. 2).

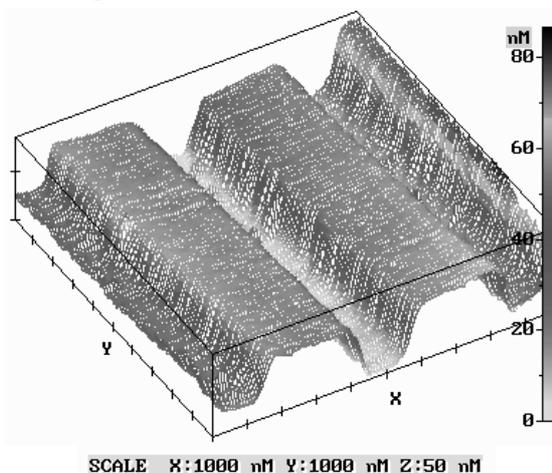


Рис. 2. Фрагмент микроструктуры – хром на поверхности кварцевой подложки.

Перенос хромовой разметочной микроструктуры в кварцевую подложку осуществлялся реактивным ионно-плазменным травлением на опытно-промышленной установке типа УТП ПДЭ-125-009. Данная установка позволяет проводить травление пластин в ВЧ-разряде с магнитным полем и получать, с использованием электронной литографии размеры элементов 0,1-0,2 мкм. В частности, для переноса микрорельефа на поверхность кварцевой подложки использовался ВЧ-реактивный ионно-плазменный разряд в смеси газов CCl_2F_2 и O_2 . Соотношение CCl_2F_2 и O_2 составляло 5:1 соответственно.

Предварительно, реакционная камера откачивалась до давления не хуже $3,2 \cdot 10^{-2}$ Па, после этого подавалась смесь газов CCl_2F_2 и O_2 в необходимом соотношении и в рабочей камере устанавливалось суммарное давление (0,6-0,7) Па. Затем, с помощью индуктора, в кварцевой реакционной камере возбуждался ВЧ-разряд ($f = 13,56$ МГц) с одновременным наложением продольного магнитного поля (ортогонального плоскости подложки) и подачей отрицательного смещения. Величина данного ВЧ-смещения при проведении всего процесса травления находилась в пределах 200-220 В. При этом ВЧ-мощность поступающая на индуктор реакционной камеры составляла 600-650 Вт. Соотношение падающей и отраженной мощностей было не хуже 10:1. Такой режим травления кварцевой пластинки на данной установке обеспечивал скорость травления около 15 нм/мин. Стойкость маски из хрома толщиной 80 нм и полученной с использованием пленок ХСП, в указанном выше режиме травления не превышает 12-15 мин. Поэтому высота полученного в кварцевой подложке микрорельефа может составлять 160-225 нм при травлении до полного стравливания хромового маскирующего слоя.

Профилограмма микроструктуры оптического информационного диска-оригинала, полученная с помощью сканирующего зондового микроскопа, представлена на рис. 3.

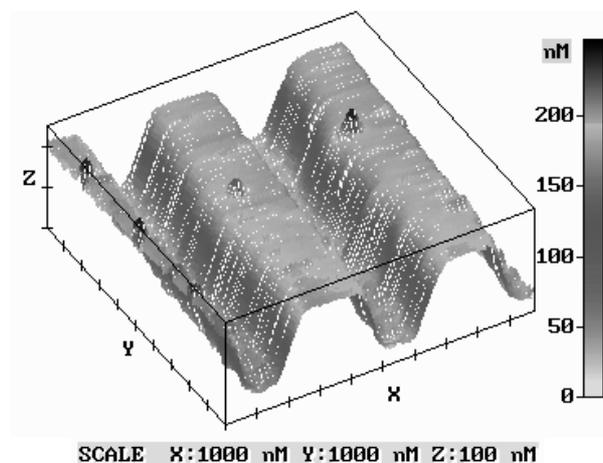


Рис. 3. Фрагменты профилограммы микроструктуры оптического диска.

Заключение

В данной работе получены следующие результаты:

- записана решетка в слоях ХСП, с разрешением порядка 500 лин/мм.;
- отработана технология переноса хромовой разметочной структуры в кварцевую подложку с по-

следующим формированием в ней микрорельефа на установке УТП ПДЭ-125-009;

- сформирован микрорельеф в кварцевой пластинке высотой до 226 нм, что предопределялось толщиной пленки хрома;

- анализ, профилограммы полученной решетки, позволяет говорить о высоком качестве микрорельефа и перспективности использования пленок ХСП, имеющих высокое разрешение.

Благодарность

Авторы выражают благодарность В.С. Соловьеву за техническое содействие в получении представленных результатов.

Литература

1. Аристов В.В., Бабин С.В., Ерко А.И. Возможности технологии микроэлектроники для создания элементов компьютерной оптики. // Компьютерная оптика. - М.: МЦНТИ, 1989. - Вып.4. - с.61-65.
2. Моисеев О.Ю., Волков А.В., Дмитриев В.Д., Вербенко И.В., Бородин С.А. Испаритель многокомпонентных материалов. А.с. № 1491029 от 01.03.1989.
3. Моисеев О.Ю., Колпаков А.И., Волков А.В., Бородин С.А. Испаритель многокомпонентных материалов. А.с. № 1824457 от 12.11.1992.
4. Коломиец Б.Т., Любин В.М., Шило В.П. Фотостимулированные изменения растворимости ХСП // Физика и химия стекла. - 1978. - т. 4, № 3. - с. 351-357.
5. Indutnyi I.Z., Stronski A.V., Kostioukevitch S.A., Romanenko P.F., Shepeljavi P.E., Robur I.I. Holographic optical elements fabrication using chalcogenide layers // Opt. Eng. - 1995. - v. 534, N 4. - p. 1030-1039.
6. Коронкевич В.П., Ремесник В.Г., Фатеев В.А., Цукерман В.Г. Киноформные оптические элементы в пленках халькогенидных стеклообразных полупроводников. // Автометрия. - 1976. № 5, - с. 3-9.
7. Indutnyi I.Z., Kostioukevitch S.A., Shepeljavi P.E., Stronski A.V., Gladtschenko L.M. Formation of optical disk direction paths and optical master disks with the help of inorganic resists // Proc. SPIE.- 1993. - v. 1983. - p. 464-465.
8. Пат. 2008285 Российской Федерации, МКИ⁵ С 03 С 15/00, 23/00. Раствор для негативного травления халькогенидных стекол /Индутный И.З., Костюкевич С.А., Шепелявый П.Е. //Открытия, изобр. 1994. - № 4.
9. Ахмадеев М.Х., Пашинкина Г.З., Караулова О.Д., Фазуллина А.В. Методы травления оптических покрытий // Аналитический обзор за 1950-1979 гг. - №3059. - М.: ЦНИИ Электроника, 1982. - 72 с.

Forming a DOE micro-relief with the use of chalcogenide vitreous semiconductors

A.V. Volkov, N.L. Kazanskiy, G.F. Kostyuk, S.A. Kostyukevich¹, P.E. Shepelyavyi¹

Image Processing Systems Institute of RAS

¹Institute of Semiconductor Physics (ISP), NAS of Ukraine

Abstract

The diffractive optics specialists pay particular attention to the technologies of microrelief formation based on the microelectronics achievements and equipment [1]. This paper presents the results of microrelief formation using chalcogenide vitreous semiconductors with a resolution of over 5000 lines/mm.

Citation: Volkov AV, Kazanskiy NL, Kostyuk GF, Kostyukevich SA, Shepelyavyi PE. Forming a DOE micro-relief with the use of chalcogenide vitreous semiconductors. *Computer Optics* 1999; 19: 129-131.

References

- [1] Aristov VV, Babin SV, Erko AI. The possibilities of microelectronics technology for creating computer optics elements. *Computer optics* 1989; 4: 61-65.
- [2] Moiseev OY, Volkov AV, Dmitriev VD, Verbenko IV, Borodin SA. Evaporator for multicomponent materials. Inventor's certificate 1491029 dated 01.03.1989.
- [3] Moiseev OY, Kolpakov AI, Volkov AV, Borodin SA. Evaporator for multicomponent materials. Inventor's certificate 1824457 dated 12.11.1992.
- [4] Kolomiets BT, Lyubin VM, Shilo VP. Photostimulated changes of the solubility of chalcogenide glasses. *Fizika i Khimiya Stekla*. 1978; 4(3): 351-357.
- [5] Indutnyi I.Z., Stronski A.V., Kostioukevitch S.A., Romanenko P.F., Shepeljavi P.E., Robur I.I. Holographic optical elements fabrication using chalcogenide layers // *Opt. Eng.* - 1995. - v. 534, N 4. - p.1030-1039.
- [6] Koronkevich VP, Remesnik VG, Fateev VA, Tsukerman VG. Kinoform optical elements in glassy chalcogenide semiconductor films. *Avtometriya*; 1976; 5: 3-9.
- [7] Indutnyi I.Z., Kostioukevitch S.A., Shepeljavi P.E., Stronski A.V., Gladtschenko L.M. Formation of optical disk direction paths and optical master disks with the help of inorganic resists // *Proc. SPIE.*- 1993. - v. 1983. - p. 464-465.
- [8] Indutnyi IZ, Kostioukevitch SA, Shepeljavi PE. RF Patent 2008285, MKI5 C 03 C 15/00, 23/00. Solution for negative etching of chalcogenide glasses. *Otkrytiya. Izobr.*; 1994: 4.
- [9] Akhmadeev MK, Pashinkina GZ, Karaulova OD, Fazullina AV. Etching methods for optical coatings. Analytical review for 1950-1979; Moscow: TSNII Elektronika; 1982; 3059: 72.