

Прямая лазерная запись отражающих полутоновых микроизображений на тонких пленках хрома

В. П. Корольков¹, Р. И. Куц^{1,2}, А. Р. Саметов¹, В. В. Черкашин¹, С. К. Голубцов¹,
А. И. Малышев¹

¹ Институт автоматизации и электротехники СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
Новосибирск, Россия

В работе реализована технология прямой лазерной записи полутоновых микроизображений, работающих на отражение, на тонких (≈ 50 нм) пленках хрома. Технология записи полутоновых отражающих микроизображений включает этапы напыления покрытия, лазерной записи и жидкостного травления. Разработана методика воспроизведения зависимости отражения структур от мощности экспонирующего излучения. Достигнут контраст полутоновых изображений, превышающий 10 раз. Методика учитывает влияние толщины используемых пленок на формирование локального оксидного слоя: перед использованием новой серии напыленных пленок хрома, производится корректировка характеристической функции материала. Технология применима для создания как эталонных отражающих микроизображений, так и отражающих амплитудных полутоновых ДОЭ.

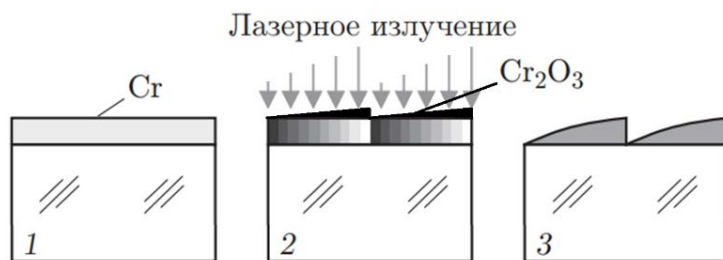
Ключевые слова: прямая лазерная запись, полутоновые микроизображения, пленки хрома, лазерное окисление, эталонные микроизображения, дифракционные оптические элементы.

Цитирование: Корольков, В. П. Прямая лазерная запись отражающих полутоновых микроизображений на тонких пленках хрома / В. П. Корольков, Р. И. Куц, А. Р. Саметов, В. В. Черкашин, С. К. Голубцов, А. И. Малышев // НОЛОЕХРО 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 48–52.

Введение

Сегодня хорошо известен и широко применяется метод фотолитографии путем экспонирования фотоактивного слоя через фотошаблон, имеющий прозрачные и непрозрачные участки [1]. Для формирования пропускающего микроизображения известен метод прямой лазерной записи на тонких пленках хрома с применением селективного травителя [2].

Известен также метод лазерной записи масок с полутоновыми пропускающими микроизображениями [3–5]. Однако, сегодня возникают задачи по созданию полутоновых микроизображений, работающих на отражение. Актуальность связана с потребностью в создании отражающих микроизображений, используемых в медицине, биологии и геологии, как эталонные образцы для обучения специалистов и калибровки оборудования. В данной работе предлагается адаптировать методику формирования пропускающих микроизображений для создания отражающих высококонтрастных микроизображений посредством прямой термохимической лазерной записи на тонких пленках хрома.



1 — напыление пленки хрома, 2 — лазерная запись, 3 — селективное травление

Рис. 1. Технологические этапы создания отражающего полутонного микроизображения

1. Технологические этапы

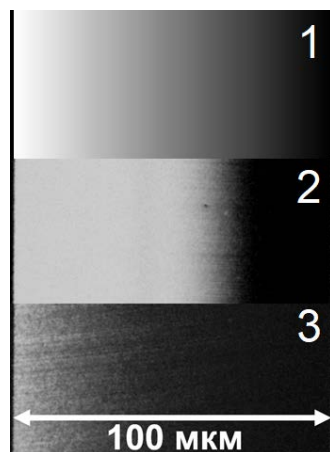
Методика создания амплитудного микроизображения состоит из трех основных этапов, схематично изображенных на рис. 1. Первый этап — нанесение пленки хрома определенной толщины (1). Толщина должна быть существенно больше толщины скин-слоя, чтобы коэффициент отражения выше на насыщение. Следующий этап — прямая лазерная запись с изменяемой мощностью, после которой образуется скрытое изображение из оксида хрома (2). Заключительный этап — проявление микроизображения.

2. Методика эксперимента и результаты

Пленки хрома толщиной ≈ 50 нм наносятся на стеклянную подложку методом магнетронного ионного напыления. Технология не всегда позволяет обеспечить повторяемость толщины пленки, ее плотности и других параметров, которые влияют на процесс термохимического окисления. Поэтому, для каждой серии напыляемых образцов требуется корректировка всех дальнейших этапов.

Прямая лазерная запись производится на установке круговой лазерной записывающей системы CLWS-300IAE [6] с длиной волны записывающего лазера 532 нм и диаметром записывающего пятна 700 нм. При изменении параметров пленки меняется критическая мощность, ниже которой прекращается абляция и плавление пленки под воздействием лазерного излучения, и реализуется режим термохимического окисления. Оксид может быть сформирован как по всему объему металлической пленки, так и поверхностно. Различные дозы облучения металлической пленки приводят к формированию оксидных слоев различной толщины. Получившийся оксидный слой служит маскирующим покрытием при последующем селективном травлении [2, 7].

Перед записью микроизображения на первом образце из напыленной серии, как уже было сказано, необходимо определить критическую мощность записи, ниже которой реализуется режим термохимического окисления. Структуры, записанные при мощности выше или равной критической, имеют существенно ниже отражение, относительно неэкспонированной пленки, что позволяет их наблюдать непосредственно через видеокамеру записывающей системы.



1 — исходный файл, 2 — микроизображение до корректировки, 3 — микроизображение после корректировки

Рис. 2. Градиентная тестовая структура

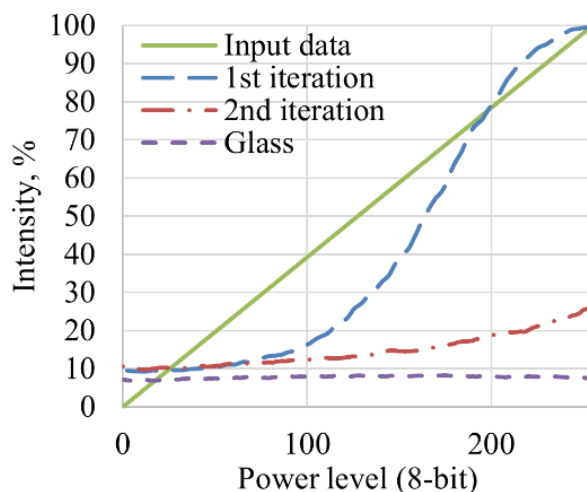


Рис. 3. Кривые отражения до и после корректировки передаточной функции

После определения критической мощности был записан калибровочный тест, представляющий собой линейный градиент (линейная функция уровней мощности, подаваемая на акустооптический модулятор, АОМ) с поперечным размером 100 мкм (рис. 2, изображение 1). После снятия из записывающей установки образец был проявлен в селективном травителе хрома на основе красной кровяной соли [7].

С помощью оптического микроскопа, работающего в режиме отражения, фиксировалось изображение проявленной тестовой структуры (рис. 2, изображение 2). Для калибровки камеры фиксируется изображение пленки с известным коэффициентом отражения и изображение стекла. Учитывая искажения камеры, производится обработка изображения тестовой записи. Далее производится расчет новой функции передачи АОМ, как обратной зависимости измеренной характеристики от первоначальной функции АОМ.

На второй итерации с коррективной передаточной функцией записывались одновременно аналогичная градиентная тестовая структура (рис. 2, изображение 3) и файл микроизображения.

На рис. 3 показаны зависимости интенсивности отраженного света от уровней мощности (256 уровней). Данные, полученные на первой итерации при записи без корректирования передаточной функции, имеющие в области крайних светлых и темных тонов близкую к нулю производную, удалены для наглядности. Эта кривая дает информацию о максимальном контрасте технологии записи полутонового микроизображения на пленке хрома (отношение максимума отражения и минимума ≈ 10). Контраст ограничивается отражением от чистого стекла, равным $\approx 8\%$.

Кривая, полученная после корректировки передаточной функции (пунктир с точкой) имеет более линейаризованную форму, чем кривая до корректировки (длинный штрих). Од-

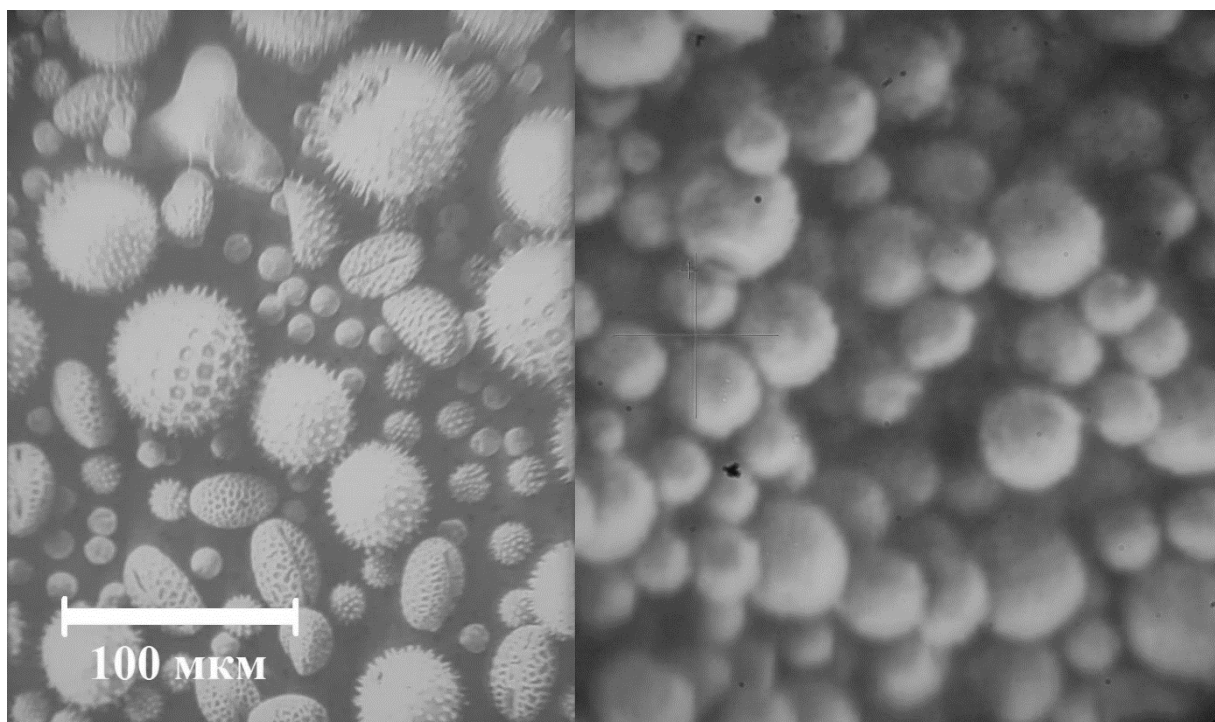


Рис. 4. Примеры отражающих микроизображений, записанные на пленках хрома.

нако, на второй итерации было осуществлено травление интенсивнее, чем на первой итерации из-за этого. Это доказывает, что следует ориентироваться не на время полного удаления неэкспонированной пленки хрома, а на текущий уровень пропускания пленки. Для данной технологии недопустимой является ситуация, когда травление продолжается при уже удаленных неэкспонированных участках. Соблюдение одинаковой, но не максимальной интенсивности пропускания неэкспонированной после проявления на обоих этапах реализации технологии приводит к снижению контрастности микроизображения. При этом, полное исчезновение неэкспонированной пленки не позволяет обеспечить линейность итогового микроизображения, что в некоторых случаях оказывается ключевым требованием к всей методике. На рис. 4 показаны примеры записанных микроизображений.

Заключение

Предложен и исследован метод полутоновой записи отражающих микроизображений на тонких пленках хрома с максимальным контрастом до 10 раз. Адаптирована методика для записи пропускающих микроизображений. Получены отражающие микроизображения, представляющие собой полутоновой градиент с близкой к линейной форме.

Показано, что при реализации технологии в две итерации во время проявления скрытого полутонового микроизображения в селективном травителе следует ориентироваться не на время травления, а на текущий уровень пропускания пленки.

Благодарность

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Спектроскопия и оптика» ИАиЭ СО РАН за счет средств проекта РФФ №7-19-01721-П.

Список источников

- [1] **Christophersen, M.** [Gray-tone lithography using an optical diffuser and a contact aligner](#) / M. Christophersen, B. F. Philips // Applied Physics Letters. — 2008. — Vol. 92. — № 19. — P. 194102.
- [2] **Cherkashin, V. V.** [Processing parameter optimization for thermochemical writing of DOEs on chromium films](#) / V. V. Cherkashin, E. G. Churin, V. P. Korolkov, V. P. Koronkevich, A. A. Kharissov, A. G. Poleshchuk, J. H. Burge // Proceedings of SPIE. — 1997. — Vol. 3010.
- [3] **Гочияев, В. З.** Полутонная оптическая запись на пленках a-Si / В. З. Гочияев, В. П. Корольков, А. П. Соколов, В. П. Чернухин // Квантовая электроника. — 1989. — Том 16. — № 11. — С. 23–43.
- [4] **Korolkov, V. P.** [Fabrication of gray-scale masks and diffractive optical elements with LDW-glass](#) / V. P. Korolkov, A. I. Malyshev, A. G. Poleshchuk, V. V. Cherkashin, H. J. Tiziani, C. Pruss, T. Schoder, J. Westhauser, C. Wu // Proceedings of SPIE. — 2001. — Vol. 4440. — P. 73–84.
- [5] **Полещук, А. Г.** Прямая лазерная запись в пленках хрома полутонных микроизображений с большим динамическим диапазоном / А. Г. Полещук, В. П. Корольков, А. Г. Седухин, А. Р. Саметов, Р. В. Шиманский // Автометрия. — 2015. — Том 51. — № 3. — С. 87–93.
- [6] **Korolkov, V. P.** [Zone-boundary optimization for direct laserwriting of continuous-relief diffractive optical elements](#) / V. P. Korolkov, R. K. Nasyrov, R. V. Shimansky // Applied Optics. — 2006. — Vol. 45. — № 1. — P. 53–62.
- [7] **Коронкевич, В. П.** Селективное травление экспонированных лазером тонких пленок хрома / В. П. Коронкевич, А. Г. Полещук, Е. Г. Чуринов, Ю. И. Юрлов // Письма в ЖТФ. — 1985. — Том 11. — № 3. — С. 144–148.