

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ НЕПРОЗРАЧНЫХ МИКРООБЪЕКТОВ ГОЛОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

*Аркади КИРИЦА, Олег КОРШАК, Владимир ПРИЛЕПОВ, Юрий ЖИДКОВ,
Ион АНДРИЕШ, Надежда НАСЕДКИНА, Алексей ЧОРНЫЙ*

НИЛ фототермопластической записи

Pe baza semiconductorilor calcogenici sticloși au fost obținuți purtători fototermoplastici cu o sensibilitate holografică de până la $7 \cdot 10^6 \text{ cm}^2/\text{J}$. Au fost studiate procesele de înregistrare a rețelelor holografice pe purtători în timp real. Se demonstrează posibilitatea utilizării acestora pentru măsurarea dimensiunilor microobiectelor netransparente prin metoda rastrării interferențiale. Este dat un calcul detaliat al parametrilor instalației optice.

Based on chalcogenide glassy semiconductors the photothermoplastic carriers were obtained with a holographic sensitivity of up to $7 \cdot 10^6 \text{ cm}^2/\text{J}$. The processes of recording on them the holographic gratings in real time were studied. Demonstrated is the possibility of using them to measure the size of opaque micro objects via interference rasterization. A detailed calculation of the parameters of the optical installation is given.

Введение

Высокие значения голографической чувствительности, разрешающей способности и малое время записи позволяют успешно применять фототермопластические носители (ФТПН) в голографии реального времени [1-4,7]. Показана возможность успешного применения ФТПН в голографической микроскопии и интерферометрии в реальном времени [2,4]. В работе [2] предложена методика регистрации голограмм прозрачных микрообъектов на ФТПН и оценки их размеров при помощи интерференционного растривания.

Целью исследования являлось измерение размеров непрозрачных микрообъектов голографическими методами с использованием фототермопластического процесса записи.

Эксперимент

Получены и исследованы ФТПН для регистрации голограмм и интерферограмм в реальном масштабе времени. На гибкую лавсановую ленту (1, рис.1) наносился прозрачный электрод хрома (2) толщиной $0,05 \text{ }\mu\text{m}$. Поверх металлического электрода наносился фотополупроводниковый слой халькогенидного стеклообразного полупроводника (ХСП) $\text{As}_4\text{Se}_3\text{S}_3\text{-As}_2\text{S}_3$ (3) с максимумом спектральной чувствительности вблизи $\lambda = 532 \text{ nm}$. На поверхность полупроводникового слоя наносился термопластический слой (4) на основе poly-N-ерохурpropylcarbazole в интервале толщин $0,2\text{--}0,7 \text{ }\mu\text{m}$. Оптическая схема для регистрации интерференционных решеток была сконструирована на основе DPSS Nd:Yag лазера с длиной волны излучения $\lambda = 532 \text{ nm}$, с возможностью измерения кинетики роста дифракционной эффективности в процессе записи. Дифракционная эффективность (DE) зарегистрированных решеток определялась как отношение интенсивности света в первом дифракционном максимуме к интенсивности света, прошедшего через неэкспонированный участок исследуемого образца. Такой метод определения DE позволяет исключить влияние поглощения света в структуре металлический электрод-полупроводник. При регистрации голограмм ФТПН предварительно разогревается до пластического состояния термопластического слоя ($T = 79 - 81^\circ\text{C}$). Одновременно с началом экспозиции включается высоковольтное зарядное устройство ($7,2 - 7,9 \text{ kV}$), и поверхность термопластика в течение $\sim 3 \text{ s}$ заряжается положительными зарядами ионизированного воздуха. В освещенных участках халькогенидного стеклообразного полупроводника (ХСП) индуцируется заряд противоположного знака, и под действием электростатического взаимодействия на поверхности термопластического слоя формируется рельефно-фазовое изображение.

Были определены оптимальные параметры ФТП процесса для регистрации дифракционных решеток: температура разогрева $T = 79,5^\circ\text{C}$, время записи $2,8 \text{ s}$, напряжение ионизирующего устройства $7,8 \text{ kV}$ и освещенность $E = 2 \cdot 10^{-5} \text{ W/cm}^2$. При таких условиях записи были получены дифракционные решетки с дифракционной эффективностью не менее 32% на резонансной частоте записи вблизи 1000 nm^{-1} .

Голографическая чувствительность полученных носителей при $DE = 1\%$ достигает значения $S = 7 \cdot 10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{J}^{-1}$ для лазерного излучения $\lambda = 532 \text{ nm}$.

Проведены исследования по регистрации голограмм микрообъектов и определению их размеров с использованием ФТП процесса. На рис.1 представлена оптическая схема установки для регистрации голограмм непрозрачных микрообъектов.

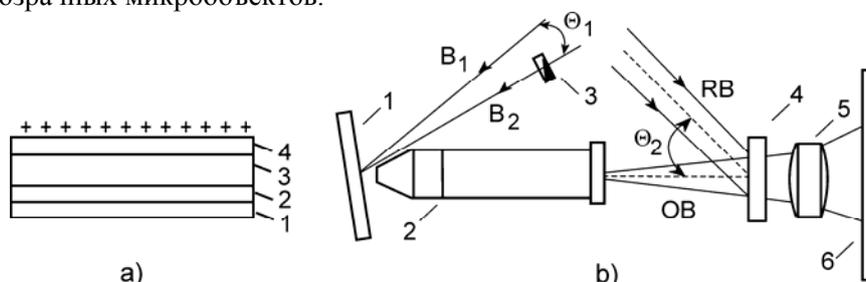


Рис.1. а) ФТП носитель: 1) лавсановая основа, 2) металлический электрод, 3) полупроводник, 4) термопластик; б) Оптическая схема: 1) кремниевая пластина, 2) микроскоп, 3) фильтр, 4) ФТПН, 5) объектив, 6) экран.

Сходящиеся под углом Θ_1 лазерные пучки B_1 и B_2 проецируются на поверхность исследуемого объекта (1). В результате интерференции пучков B_1 и B_2 поверхность объекта освещается интерференционным растром с периодом d .

Видность интерференционных полос рассчитывается по формуле Майкельсона:

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (1)$$

где I_{\max} и I_{\min} – интенсивности в максимумах и минимумах интерференционной картины.

Увеличенное микроскопом (2) изображение объекта (предметный пучок OB) проецируется на поверхность ФТП носителя (4) и при наложении опорного пучка (RB) происходит регистрация голограммы. При освещении зарегистрированной голограммы опорным пучком RB на экране (6) наблюдается восстановленное изображение исходного объекта с наложением интерференционной картины. Размеры объекта определяются исходя из известного периода d . При равной интенсивности пучков B_1 и B_2 (как предложено в [2]) видность интерференционных полос $V = 1$ ($I_{\min} = 0$) и при регистрации голограммы происходит потеря информации об объекте в темных участках интерференционного раstra. В предложенной схеме интенсивность пучков B_1 и B_2 подбирается таким образом, чтобы объект освещал интерференционной картиной с видностью интерференционных полос $V = 0,5$. В таком случае объект освещается как в максимумах, так и в минимумах интерференционной картины и на восстановленной голограмме будет видна вся поверхность объекта.

При регистрации голограммы в качестве объекта использовалась пластина монокристалла кремния с нанесенными методом фотолитографии элементами микросхемы. Регистрация голограмм проводилась при освещении объекта интерференционным растром с периодом $d = 7,6 \mu\text{m}$ при видности интерференционных полос $V = 1$ и $V = 0,5$. Восстановленные на экране (6, рис.1) и сфотографированные на цифровую камеру изображения исходного объекта представлены на рис.2.

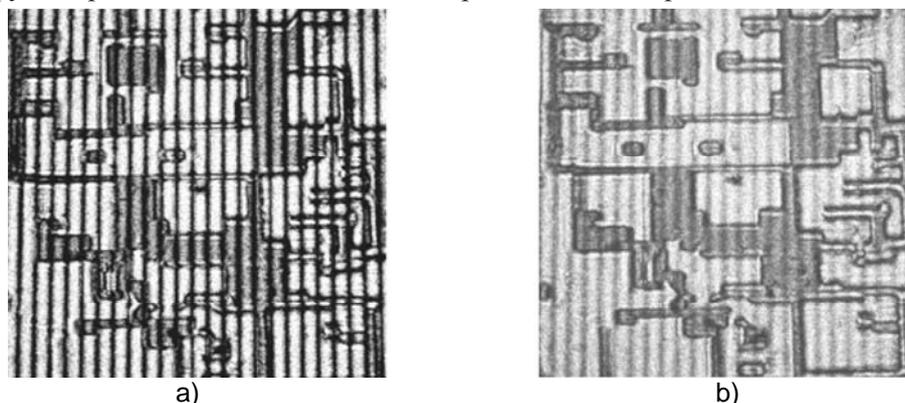


Рис.2. Восстановленные изображения объекта с видностью полос а) $V = 1$, б) $V = 0,5$.

Как видно из рис.2, при освещении объекта интерференционным растром с видностью полос $V = 0,5$ (рис.2b) регистрируется более полная информация об объекте, чем при $V = 1$ (рис.2a). Обработка полученного изображения в графическом редакторе (рис.3) позволяет определить попиксельно распределение градации серого цвета вдоль кадра. По центру изображения выделена линия толщиной в 1 пх и проведено сканирование перпендикулярно интерференционной картине по всей протяженности изображения в 240 пх.

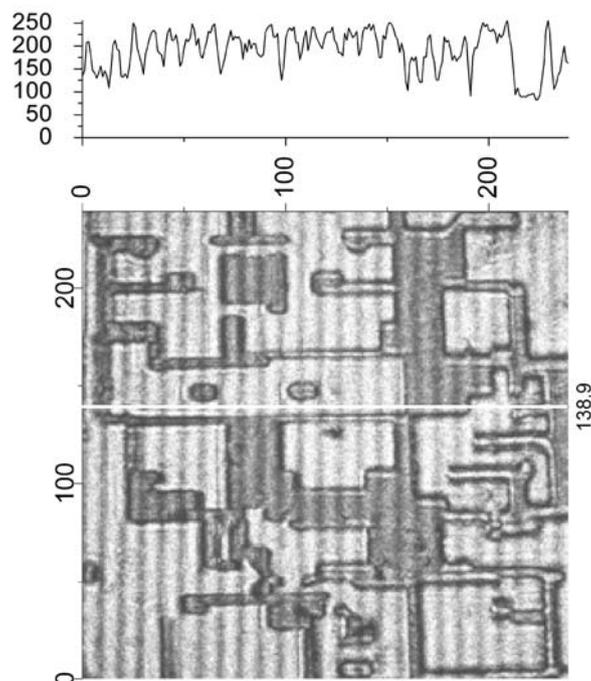


Рис.3. Распределение интенсивности градаций серого цвета вдоль голограммы.

На графике видно распределение яркости пикселей (в условных единицах от 0 до 255), где чередование максимумов и минимумов соответствует заранее известному периоду интерференционного раstra $d = 7,6 \mu\text{m}$. Амплитуды максимумов и минимумов отличаются на разных участках кадра, что объясняется различной отражательной способностью поверхности микросхемы при записи голограммы. Однако период интерференционного раstra остается неизменным по всему участку сканирования. Поделив величину известного периода $d=7,6 \mu\text{m}$ на количество пикселей между максимумами (или минимумами) получим, что каждому пикселю соответствует $\sim 1,25 \mu\text{m}$ реального размера объекта. Это позволяет определять размеры элементов микросхемы при попиксельном сканировании объектов в графическом редакторе.

Выводы

Получены ФТПН на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников системы As-Se-S для регистрации рельефно-фазовых голограмм в реальном масштабе времени с голографической чувствительностью до $7 \cdot 10^6 \text{ cm}^2/\text{J}$. Предложена методика определения размеров непрозрачных микрообъектов при помощи интерференционного растрирования в процессе записи голограммы.

Литература:

1. Credelle T., Spong F. Thermoplastic media for holographic recording, Selected Papers on Holographic Recording Materials, Editor: H.Bjerkhagen, Proc SPIE, 1996, v.MS130, p.619-633.
2. Chirita A. Real-time scaling of micro-objects by multiplexed holographic recording on photo-thermo-plastic structure // Journal of Modern Optics, 2010, v.57, p.854-858.
3. Nastas A.M., Andriesh A.M., Bivol V.V., Slepnev I.N. and Prisakar A.M. Recording Double-Exposure Interferograms on a Photothermoplastic Carrier in Photoinduced and Photothermoplastic Regimes // Technical Physics Letters, 2009, 35, no.4, p.375-376.

4. Panasyuk L.M., Nastas A.M. Image recording on photothermoplastic media with different thicknesses of the thermoplastic layer // Optics and Spectroscopy Journal, 2003, 94, no.6, p.959-9614.
5. Collier R.J. Optical Holography. Academic Press, 1971.
6. Caulfield H.J. Handbook of Optical Holography. Academic Press, 1979.
7. Aleksandrova E.L. High-sensitivity polyimide structures for photothermoplastic data recording // Journal of Optical Technology, 2003,70, p.109-113.

Notă: Lucrarea a fost elaborată în cadrul Programului STCU-AȘM „Inițiative comune de Cercetare-Dezvoltare”, 11.820.05.08.STCU.A/5404.

Prezentat la 03.05.2012