

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ СИСТЕМЫ $As_4Se_3S_3$ И ДИЭЛЕКТРИКА BaF_2 В ПРОЦЕССАХ РЕГИСТРАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ГОЛОГРАММ

Аркадий КИРИЦА

НИИ фототермопластической записи

În prezenta lucrare sunt studiate proprietățile purtătorilor fototermoplastici cu strat halogenic în bază de semiconductori din sistemul $As_4Se_3S_3$ la înregistrarea pe aceștia a hologramelor. Au fost studiate, de asemenea, caracteristicile holografice ale purtătorilor ce conțin suplimentar un strat de dielectric în baza substanței BaF_2 .

In the presented research work there have been studied the possibilities to use photothermoplastic media with light sensitive layer of chalcogenide glassy semiconductor on the basis of $As_4Se_3S_3$ system for the recording of impulse holograms. There have been investigated holographic characteristics of the photothermoplastic media with additional dielectric layer on the basis of BaF_2 .

Введение

Регистрация голограмм в реальном масштабе времени является одним из наиболее перспективных направлений практического применения фототермопластических носителей (ФТПН) на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП). ФТПН обладают высокой голографической чувствительностью (порядка $10^6 \text{ cm}^2 \cdot \text{J}^{-1}$), большой разрешающей способностью ($>1500 \text{ mm}^{-1}$) и высокой скоростью регистрации оптической информации ($\sim 5\text{s}$) [1,2]. Основной целью данной работы является исследование ФТП носителей, разработанных для регистрации импульсных голограмм. Актуальность таких исследований заключается в создании новых материалов для регистрации голографических изображений подвижных микрообъектов.

Эксперимент

ФТП состоит из последовательно нанесенных на прозрачную основу светопропускающего проводящего электрода на основе металлического хрома, светочувствительного слоя на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников системы $As-Se-S$ и термопластического слоя на основе органических полимеров [1,2]. Получение ФТП носителей основывается на использовании вакуумных технологий и методики нанесения тонких пленок методом полива из химических растворов органических полимеров. Для проведения эксперимента был получен ФТП носитель на основе фоточувствительного полупроводника системы $As_4Se_3S_3$ и термопластического слоя на основе олигомера полиэпоксипропилкарбазола. На поверхность полупроводникового слоя толщиной $1,8 \mu\text{m}$, полученного методом термического испарения в вакууме, методом полива из химического раствора полиэпоксипропилкарбазола в толуоле наносился термопластический слой толщиной $0,5 \mu\text{m}$.

Так же был получен ФТП носитель с применением дополнительного диэлектрического слоя на основе тонкой пленки BaF_2 [3], принципиальная схема которого представлена на рис.1. На лавсановую ленту (1) методом электронно-лучевого испарения в вакууме наносился полупрозрачный слой металлического хрома (2), поверх которого осаждался диэлектрический слой в виде тонкой пленки BaF_2 (3) толщиной 100-150nm. На диэлектрический слой методом термического испарения в вакууме наносился слой светочувствительного полупроводника $As_4Se_3S_3$ (4) толщиной $1,2 \mu\text{m}$. Термопластический слой (5) толщиной $0,5 \mu\text{m}$ наносился методом полива из раствора полиэпоксипропилкарбазола в толуоле. Таким образом, были получены два типа ФТП носителей с одинаковыми толщинами полупроводникового и термопластического слоев, отличие между которыми состояло в наличии у второго носителя дополнительного диэлектрического слоя BaF_2 .

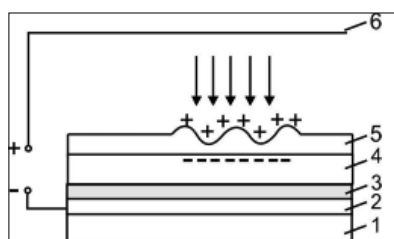


Рис.1. Фототермопластический носитель.

- 1- лавсановая подложка,
- 2- проводящий электрод,
- 3-диэлектрический слой BaF_2 ,
- 4-фоточувствительный полупроводник $As_4Se_3S_3$,
- 5-термопластический слой.

Для проведения эксперимента по регистрации голографических изображений была сконструирована оптическая установка, принципиальная схема которой приведена на рис.2. В качестве источника когерентного излучения использовался Nd:YAG лазер с длиной волны $\lambda=532\text{nm}$ и мощностью излучения 50mW (1). Световой пучок пропусклся через электрооптический модулятор МЛ-102, который обеспечивал функцию быстродействующего затвора (2).

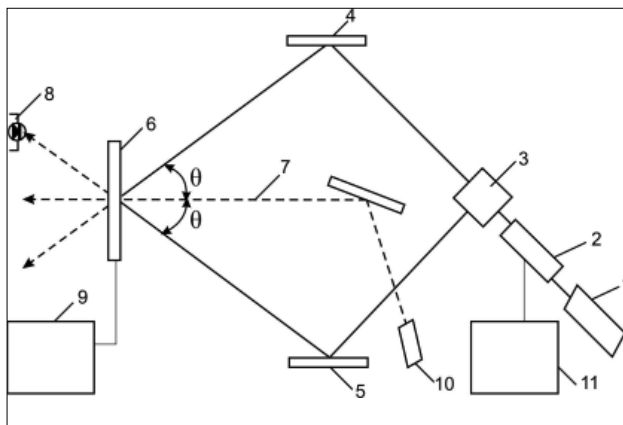


Рис.2. Оптическая схема голографической установки.

- 1- Nd:YAG лазер,
- 2- электрооптический модулятор МЛ-102,
- 3-делительный куб,
- 4,5-зеркала,
- 6-ячейка ФТП записи,
- 7- считывающий пучок He-Ne лазера,
- 8-фотодетектор,
- 9-блок управления ФТП процессом,
- 10- He-Ne лазер,
- 11- генератор одиночных импульсов.

Управление электрооптическим затвором производится при помощи генератора одиночных импульсов (11), продолжительность которых можно регулировать в пределах от 10^{-5} до 1 s. После электрооптического модулятора лазерный луч разделяется при помощи делительного куба (3) на два взаимно перпендикулярных пучка, которые сводятся на поверхности ФТП носителя под углом 2θ . Исследуемый носитель помещается в ячейку записи (6), обеспечивающую равномерный разогрев материала до пластического состояния термопластического слоя. С началом процесса записи на коронирующую нить (6, рис.1) подается высокое напряжение ($\sim 8\text{ kV}$), что приводит к ионизации окружающего воздуха. Под действием электрического поля между коронирующей нитью и проводящим электродом ионизированные молекулы воздуха покрывают термопластический слой, создавая на поверхности термопластика положительный заряд. Через 0,1s после начала процесса зарядки с генератора одиночных импульсов (11) подается сигнал на электрооптический модулятор (2), и поверхность ФТП носителя подвергается засветке на заранее установленный период времени τ . Под действием освещения в фоточувствительном полупроводнике генерируется отрицательный заряд, плотность которого пропорциональна интенсивности падающего света. Кулоновское взаимодействие между положительными и отрицательными зарядами приводит к деформации термопластического слоя, создавая на поверхности рельефное изображение регистрируемой оптической информации [1,2].

Термопластические носители обладают резонансным характером записи, когда максимальное значение дифракционной эффективности достигается при определенной пространственной частоте записи. Резонансная частота зависит от толщины термопластического слоя и определяется из соотношения: $1/3T < v_{\text{rez}} < 1/2T$, где T- толщина термопластического слоя [1,2]. Для определения этого параметра для обоих типов ФТП носителей была получена зависимость дифракционной эффективности от пространственной частоты записи $\eta=f(v)$. Регистрация интерференционных решеток проводилась при непрерывном освещении ФТПН в течение всего процесса электростатической зарядки поверхности носителя. Суммарная освещенность обоих интерферирующих пучков составляла $E=5 \cdot 10^{-6}\text{ W/cm}^2$. Температура разогрева носителя $T=79,5^{\circ}\text{C}$ обеспечивала необходимую пластичность полимера для формирования поверхностного рельефа. Продолжительность процесса записи составляла $t=2,8\text{s}$.

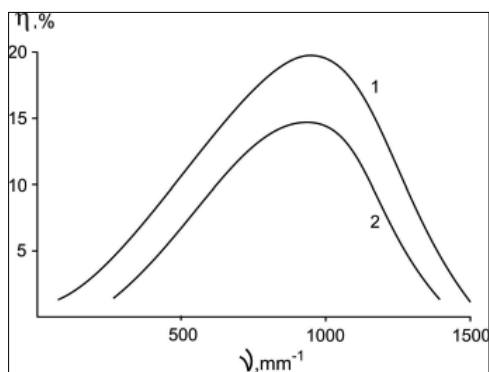


Рис.3. Зависимость дифракционной эффективности от пространственной частоты записи.

- 1- ФТП носитель без диэлектрического слоя,
- 2- ФТП носитель с диэлектрическим слоем BaF_2 .

Дифракционная эффективность измерялась в излучении He-Ne лазера (10, рис 2) как отношение интенсивности первого дифракционного максимума к интенсивности падающего сигнала. Как видно из графика, максимальное значение дифракционной эффективности достигается вблизи пространственной частоты $\nu \sim 1000 \text{mm}^{-1}$, что и является резонансной частотой записи для обоих носителей. Одинаковые значения резонансной частоты обусловлены равной толщиной термопластического слоя, но при этом максимально достигнутые значения дифракционной эффективности различны для обоих типов носителей. Максимальное значение дифракционной эффективности $\eta = 15\%$ для носителя с разделяющим слоем BaF_2 (кривая 2, рис.3) значительно ниже такого же параметра ($\eta = 20\%$) для носителя без дополнительного диэлектрического слоя (кривая 1, рис.3).

Однако главной целью данной работы являлось исследование полученных носителей в процессах регистрации импульсных голограмм, когда продолжительность засветки намного меньше времени формирования поверхностного рельефа термопластического слоя. Для обеспечения световых импульсов определенной длительности в схеме записи использовались электрооптический модулятор (2, рис.2) и генератор одиночных прямоугольных импульсов. В отличие от непрерывной засветки освещенность носителя кратковременным импульсом проводилась с использованием времени задержки в интервале 0,1-0,3с с момента начала зарядки разогретого до пластичного состояния термопластического слоя. Задержка подачи светового импульса обусловлена необходимостью накопления первоначального заряда на поверхности термопластического слоя, что позволяет сформировать электростатическое поле для разделения фотогенерируемых пар носителей заряда. Экспериментально было установлено, что время задержки в интервале 0,1-0,3с является оптимальным для исследуемых ФТП носителей. Эксперимент проводился при продолжительности световых импульсов τ в интервале от 10^{-4} до 0,1с при постоянной энергетической экспозиции, равной $H = Et = 10^5 \text{J/cm}^2$, и времени зарядки $t = 2,8\text{s}$.

Зависимость дифракционной эффективности от продолжительности светового импульса при постоянном значении энергетической экспозиции представлена на рис.4. Как видно из зависимости, при продолжительности импульса $\tau = 0,1\text{s}$ для носителя без дополнительного диэлектрического слоя дифракционная эффективность достигает значения в 20% и начинает резко падать при уменьшении продолжительности импульса в интервале от 10^{-2} до 10^{-3}s , достигая минимального значения в 1% при $\tau = 2 \cdot 10^{-3}\text{s}$. Для носителя с диэлектрическим слоем BaF_2 дифракционная эффективность достигает значения в 15% при $\tau = 0,1\text{s}$ и при уменьшении продолжительности импульса в интервале от 10^{-2} до 10^{-4}s достигает минимального значения в 1% при $\tau = 8 \cdot 10^{-4}\text{s}$.

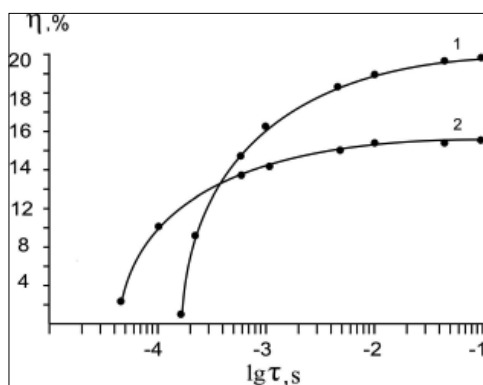


Рис.4. Зависимость дифракционной эффективности от продолжительности светового импульса при постоянном значении энергетической экспозиции $H = 10^5 \text{J/cm}^2$.
1- ФТП носитель без диэлектрического слоя,
2- ФТП носитель с диэлектрическим слоем BaF_2 .

Уменьшение значений дифракционной эффективности при сокращении продолжительности светового импульса связано с нелинейным характером взаимозаместимости параметров экспозиции E и t для ФТП носителей [5]. Как видно из зависимости на рис.3, при одинаковой экспозиции $H = 10^5 \text{J/cm}^2$ носитель с дополнительным диэлектрическим слоем BaF_2 позволяет регистрировать голограммы при продолжительности импульса $\tau = 5 \cdot 10^{-4}\text{s}$, в то время как носитель без диэлектрического слоя – только при $\tau = 2 \cdot 10^{-3}\text{s}$.

Полученные результаты можно попытаться объяснить, основываясь на теории фототермопластической записи. В системе с заряженным ФТП слоем кулоновское взаимодействие между зарядом на поверхности и зарядом проводящего электрода создает электростатическое давление, пропорциональное квадрату плотности поверхностного заряда. При освещении поглощенные кванты вызывают в светочувствительном полупроводнике фотогенерацию пар носителей заряда, разделяемых действием внутреннего электростатического поля. Создаваемый экспонированием объемный заряд в слое фоточувствительного полупроводника увеличивает в освещенных местах электростатическое давление в соответствии с распределением освещенности по поверхности слоя, создавая скрытое электростатическое изо-

бражение. Визуализация изображения на разогретом до пластичного состояния термопластике наступает при образовании поверхностной деформации, что и формирует на поверхности рельефно-фазовое изображение регистрируемой оптической информации [1,2,4]. Основываясь на вышесказанном, можно предположить, что в носителе с диэлектрическим слоем BaF_2 электростатическое поле между зарядом на поверхности и зарядом проводящего электрода ослабляется по сравнению с носителем без дополнительного диэлектрического слоя, что предположительно уменьшает величину объемного заряда в полупроводниковом слое. Последнее приводит к ослаблению кулоновских сил и, как следствие, уменьшает электростатическое давление на поверхность термопластического слоя, что и ведёт к снижению значений дифракционной эффективности для носителей с диэлектрическим слоем BaF_2 (рис.3). В то же время при равных значениях энергетической экспозиции носитель с диэлектрическим слоем BaF_2 позволяет регистрировать голографические изображения при световых импульсах меньшей продолжительности по сравнению с носителем без диэлектрического слоя (рис.4). Так как формирование рельефа на поверхности ФТП носителя происходит на протяжении всего времени зарядки ($t=2,8s$), то при продолжительности светового импульса порядка $10^{-4}s$ наряду с фотогенерацией пар носителей заряда и их разделением внутренним электростатическим полем сформированный объемный заряд должен сохраняться на протяжении времени, достаточном для формирования первоначального поверхностного рельефа. Предположительно наличие разделяющего слоя BaF_2 между фоточувствительным полупроводником и проводящим электродом замедляет процесс рекомбинации пар носителей заряда, что сохраняет объемный заряд в слое полупроводника в течение времени, достаточном для формирования начального рельефа на поверхности термопластического слоя.

Выводы

Применение разделяющего диэлектрического слоя BaF_2 между фоточувствительным полупроводником и проводящим электродом в ФТП носителях на основе аморфных стеклообразных полупроводников системы $As_4Se_3S_3$ улучшает их характеристики при регистрации импульсных голограмм по сравнению с носителями без дополнительного диэлектрического слоя. В то же время при непрерывном процессе записи, когда освещение происходит на протяжении всего процесса регистрации голограммы, носители с разделяющим слоем BaF_2 показывают более низкие значения дифракционной эффективности по сравнению с носителями без дополнительного диэлектрического слоя. Таким образом, применение разделяющего диэлектрического слоя BaF_2 между фоточувствительным полупроводником и проводящим электродом в ФТП носителях целесообразно при создании носителей для регистрации импульсных голограмм.

Литература:

1. Новые регистрирующие среды для голографии / Под редакцией В.А. Барачевского. – Москва: Наука, 1983.
2. Несеребряные фотографические процессы / Под редакцией А.Л. Картужанского. – Москва: Химия, 1984.
3. Cerere de brevet de inventie nr. s 2009 0068 din 2009.04.24: Purtator fototermoplastic cu dielectric pentru inregistrarea informatiei optice. Autori: A.Chirița, O.Corșac, T.Bulimaga.
4. Shaffert R.M. Electrophotography, Wiley, New York, 1975.
5. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. – Москва: Мир, 1973.

Prezentat la 20.10.2009