

УДК 001.83

И. А. Косско, С. А. Фирстов

Институт проблем материаловедения НАН Украины
ул. Кржижановского, 3, 03142 Киев, Украина
kossko@ipms.kiev.ua, fsa@ipms.kiev.ua

О корпоративном решении проблем материаловедения оптической записи и хранения информации

Проведен анализ научно-технического сотрудничества Института проблем регистрации информации и Института проблем материаловедения НАН Украины в области создания новых материалов для оптической записи информации.

Ключевые слова: материалы для оптической записи, корпоративные связи.

Введение

Исследование физических основ, принципов и методов оптической регистрации информации являлось основной задачей, для решения которой в 1987 году был создан Институт проблем регистрации информации (ИПРИ) АН УССР. Эффективное решение поставленных задач могло быть обеспечено в кооперации с научно-исследовательскими институтами Национальной академии наук Украины: Институтом физики полупроводников, Институтом металлофизики, Институтом сверхтвердых материалов, с научно-производственными объединениями «Сатурн», НИИ «Микроприборов», «Квазар» (ранее НПО «Кристалл») и другими.

Особое место в этом списке занимает Институт проблем материаловедения (ИПМ) НАН Украины. Начало сотрудничества ИПРИ с ИПМ НАН Украины можно отнести к 1984 году, когда коллектив, составивший основу коллектива ИПРИ НАН Украины еще входил в состав Института проблем моделирования в энергетике АН УССР. Активная фаза сотрудничества началась со времени передачи Институту проблем материаловедения уникального в те годы Оже-спектрометра JAMP-10S (JEOL). Такая передача была обусловлена рядом причин, и прежде всего тем, что в ИПМ уже работала лаборатория электронно-зондового анализа, оснащенная аналитическими приборами фирмы JEOL, был накоплен значительный опыт эксплуатации оборудования этой фирмы.

© И. А. Косско, С. А. Фирстов

Научно-технические проблемы оптического материаловедения

В 1988 году была принята первая программа совместных работ ИПМ и ИПРИ АН УССР по исследованию регистрирующего покрытия носителя информации оптического запоминающего устройства (ОЗУ) методами электронно-зондового анализа. В рамках сотрудничества коллективов ИПРИ и ИПМ велись работы по следующим основным научно-техническим проблемам:

- разработке носителей информации с люминесцентным откликом;
- разработке носителей информации с использованием неорганических фоторезистов;
- созданию сверхплотных носителей информации (в том числе многослойных и голографических);
- разработке носителей для долговременного хранения информации;
- созданию оптических устройств различного назначения (в том числе линз Френеля и светоотражателей);
- разработке технологии прямого и высокоскоростного мастеринга.

Решение перечисленных проблем было невозможно без глубокого изучения физико-химических процессов, проходящих на поверхности и в объеме материалов, при различных воздействиях или длительном хранении. Среди множества возникающих материаловедческих задач были относительно простые, однако, были и сложные, решение которых требовало использования большого опыта и соответствующих наработок.

Материалы для записи информации

Для оптической записи информации использовался огромный «набор» материалов. Для везикулярной и аблятивной записи, основанной на образовании пузырьков или выжигании отверстий, использовались тонкие пленки титана, хрома, серебра, алюминия и другие. Комбинации $Rt-Si$, $Rh-Si$, $TeSeSb$, Te_3Sb_2 , Se_3Sb использовались для записи на эффекте фазового перехода. Оксид TeO_x использовался для записи информации на сегрегационном эффекте, а оксид WO_x на разнице мольных объемов.

В целом классе материалов использовался эффект перехода кристаллическое — аморфное состояние. Изучалась запись с использованием эффекта текстурирования поверхностных слоев. Была исследована возможность магнитооптической записи на материалах $TbFe$, $CdFe$, $CdCo$, $MnBi$, изучен эффект воздействия лазерного и термического отжига на оптические и структурные свойства металлических аморфных сплавов в системах $3d$ переходных металлов $Fe-Co-Si-B$, $Fe-Ni-Si-B$, $Fe-Co-Mn-Si-B$. Оценена степень структурных изменений в них при лазерном и термическом отжиге, уровень напряжений в образованных монокристаллических областях [1].

Среди разработок, защищенных патентами на изобретение, было создание испарителя для халькогенидных материалов, позволяющего напылять тонкие пленки заданного химического состава [2], разработка и изготовление ионизатора, дающего возможность очистки поверхности перед каждой технологической операцией [3]. Исследованию халькогенидных материалов были посвящены совместные работы [4–9].

Особое место в материаловедении оптической записи занимали красители, использованные для записи информации с люминесцентным откликом [10].

Получены патенты на носители для долговременного хранения данных [11, 12]. История вопроса и описание патентов приведено в [13].

Методические наработки

За время работы над проблемами создания оптических носителей информации исследована структура и свойства никелевых штампов, выращенных по различным способам гальванопластики [14–16], некоторые электронно- и ионно-стимулированные эффекты в тонких пленках оксидов [17, 18], разработан ряд методик, связанных с учетом артефактов анализа экспериментальных образцов [19–21].

Весьма полезной методической работой, используемой в наших исследованиях, оказалась работа [19], показавшая возможность формирования на стеклянных или керамических образцах информационного рельефа за счет прецизионного ионного травления. Эти исследования имели дальнейшее развитие в работах [22–25], посвященных разработке оптических носителей на стеклянной и керамической подложках, а также созданию твердых и износостойких покрытий SiC на гальванически выращенных никелевых и кремниевых штамп-матрицах.

Использованные материаловедческие разработки ИПМ НАН Украины и других организаций

Полезной для работы станции записи в ИПРИ НАН Украины оказалась разработка сотрудника ИПМ А.В. Ненахова (под руководством академика НАН Украины А.Г. Косторнова) композиционного материала фторопласт–графит. Использование этого антифрикционного материала позволило решить проблему трения высокоточного узла станции записи, обеспечивающего ресурс в сотни тысяч циклов старт–остановка.

Важной и наукоемкой материаловедческой проблемой при выращивании гальванических матриц являлась проблема фильтров, которые должны обладать соответствующим комплексом свойств: высокой коррозионной стойкостью в условиях агрессивной среды (кислоты и перекиси водорода), неизменными геометрическими размерами при высоких давлениях. Необходимо было обеспечить фильтрацию частиц размером от 0,2 до 1 мкм при пропускной способности 200 л/мин при перепаде давления 1–1,5 атм. Этим требованиям удовлетворяли керамические фильтры, разработанные ИПМ НАН Украины в отделе В.Н. Павликова, сотрудники которого оказали в этом вопросе важную консультационную помощь.

В процессе изготовления никелевых штампов встал вопрос выбора технологии их гальванического выращивания. Для этого были исследованы макро-, микро- и нанотвердость никелевых матриц, полученных по различным технологиям, измерены модули упругости, пористость, исследованы структуры роста никелевых штампов. На основе полученных данных была выбрана и отлажена технология изготовления никелевых штампов [14–15].

Большая работа была проведена по решению проблемы контактного взаимодействия поликарбоната с никелевой матрицей сотрудником отдела ИПМ НАН

Украины В.С. Журавлевым [16]. Исследован механизм смачивания поликарбонатом никелевых матриц производства ODM и ИПРИ. Рассчитано соотношение работ адгезии и когезии в данных системах. Показано, что при 300° С адгезия составляет более 70 % когезии поликарбоната. Была определена прочность поликарбоната при растяжении и его физико-химическое взаимодействие при инъекционном литье с никелевыми матрицами. Соотношение между прочностью поликарбоната и его адгезией с никелевой поверхностью при комнатной температуре составило более 100 раз. Было установлено, что прочность сцепления расплава поликарбоната с матрицей сильно зависит от разности их температур в момент контакта.

Больших усилий потребовала работа по устранению дефектов технологии нанесения (полива) фоторезиста на стеклянные диски-оригиналы, а именно, проблеме образования областей с измененным коэффициентом отражения — так называемых «облаков». На рис. 1 (а)–(е) показан внешний вид данных дефектов. Было установлено, что появление областей с измененным коэффициентом отражения обусловлено проведением записи информации при повышенном уровне мощности, приводящем к формированию в процессе химического травления позитивного фоторезиста рельефных питовых структур, углы наклона стенок которых были практически вертикальными (отличие от прямого угла составляло менее 1°). Сложность разделения штампа и компакт-диска в этом случае приводила к появлению несимметричных информационных лунок. Установлено, что параметр, характеризующий соотношение между длинами коротких (3Т) и длинных (11Т) отпечатков на компакт-диске (ассиметрия), не должен превышать на штампах 7–8 %. Увеличение асимметрии до 12–14 % приводило к появлению «облаков» различной формы. Использование в дисках-оригиналах светочувствительных материалов с непосредственным формированием рельефной микроструктуры в процессе облучения позволило полностью исключить образование областей с измененным коэффициентом отражения на компакт-дисках.

В работах [23–25] была изучена возможность формирования информационного рельефа в некоторых неметаллических материалах, полученных методом реакционного спекания и горячего прессования (SiC , $\text{SiC}+\text{B}_4\text{C}$ и Si_3N_4 , $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{B}_4\text{C}$, AlN), в стеклах и в монокристаллических материалах. Для получения микрорельефа использован метод плазмохимического травления. Работы были посвящены изучению перспектив применения в производстве оптических дисков технологии прямого мастеринга, а также решению проблемы долговременного хранения информации на носителях, обладающих высокими механическими свойствами и инертных к воздействию окружающей среды. При применении указанной технологии из технологического цикла исключалась гальванопластика, являющаяся экологически вредным производством при сокращении времени изготовления компакт-дисков. «Попутно» решалась проблема длительного времени хранения информации без применения специальных условий хранения. В данном случае речь идет о создании носителей для хранения различного рода документов, проектной документации стратегических объектов, культурном наследии и т.п. Результаты исследований показали, что на керамических образцах, полученных методом реакционного спекания и горячего прессования, формировался микрорельеф с нерезкими краями питов [23]. Качество информационного рельефа, получен-

ное на монокристаллических материалах, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к штампам [24, 25]. Было показано, что перспективным будет также использование различных защитных керамических пленок (прежде всего карбида кремния), напыленных на массивную основу. На стеклянном или монокристаллическом носителе информация может быть записана как в цифровом, так и в аналоговом виде, который может быть воспроизведен через много лет посредством использования простейшего оптического или электронного микроскопа.

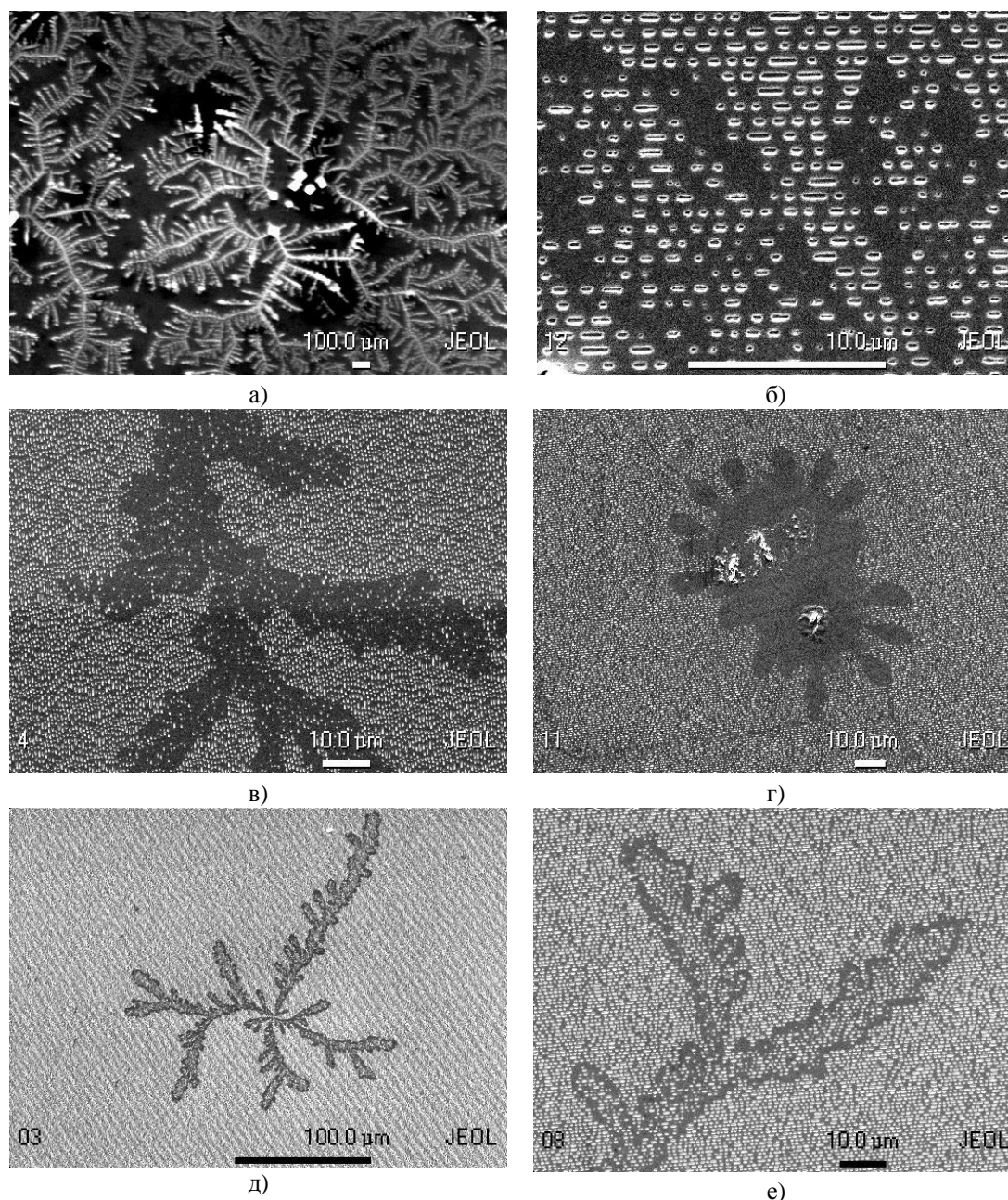


Рис. 1 (а)–(е). Дефекты оптических носителей информации

Анализ литературы, многолетний опыт работы с неметаллическими материалами в ИПМ НАН Украины определили первоочередные требования к свойствам штампов. Это высокие требования по твердости, ударной термостойкости, возможности контролируемого ионного и плазмохимического травления, теплопроводности. Установлено, что для поддержания совместимости между охлаждающими системами, используемыми в современных установках инъекционного литья, необходимо использовать материал с ударной термостойкостью, приближающейся по значению к никелю. При получении микроструктур также был использован метод электронной литографии.

В рамках работы по созданию носителей для долговременного хранения данных была решена комплексная задача, связанная с целым рядом, в том числе, материаловедческих проблем: создание технологии изготовления носителей, имеющих характеристики плотности и скорости воспроизведения информации, отвечающие современному техническому уровню. Кроме того, созданные носители должны использовать широко распространенные стандарты представления данных и иметь возможность частичной физической регенерации при локальных повреждениях напыленного слоя. Одним из путей решения данной проблемы было использование высокостабильных, коррозионно- и жаростойких материалов с изготовлением носителя в виде однородной структуры с микрорельефным представлением информации. Технология такого хранения данных на металлических пластинках использовала возможности методов: сверхплотной оптической или электронно-лучевой записи информации, гальванического получения химически чистых металлических подложек с рельефными элементами субмикронных размеров, высокоточных систем воспроизводства информации (оптических, электронно-лучевых, атомно-силовых). Разработанная технология хранения данных на металлических и комбинированных носителях гарантировала долговременную стабильность их характеристик при плотности информации 0,03–0,08 Гбайт/см². В работе показано, что плотность записи на такого рода носителях может быть увеличена в десятки раз, а скорость записи может составлять при этом 10⁶ бит/с [13].

В последние годы ИПРИ НАН Украины начал активную работу по созданию целой серии световозвращателей (катафотов) различных типов. На рис. 2 представлены типы катафотов, их металлических штампов, изготовление которых представляло сложную прикладную задачу. Для их изготовления необходимо было выбрать материал, обладающий уникальным комплексом свойств. В первую очередь материал при резании должен был образовывать идеально гладкие отражающие поверхности. Технология создания такой сложной поверхности предполагала многократный проход резцом по канавке с пошаговым углублением. Высокостабильное оборудование должно было обеспечить прохождение резца по дорожке без сдвигов, как по сторонам, так и по глубине. Принципиальным был вопрос о твердости используемых материалов. Сплавы на основе алюминия и меди обладали хорошей способностью образования гладких стенок формируемых канавок, однако, в силу многофазности создавали ряд проблем для дальнейшего выращивания штампов гальваническим способом. Это было связано с неравномерным осаждением никеля (при использовании никелевого штампа) на различные фазовые составляющие алюминия или меди. Твердые материалы создавали

проблемы при резании вследствие деформации кромки резца с течением времени. Работа по выбору комплекса материалов и совершенствование технологии создания штампов отражающих поверхностей продолжается.

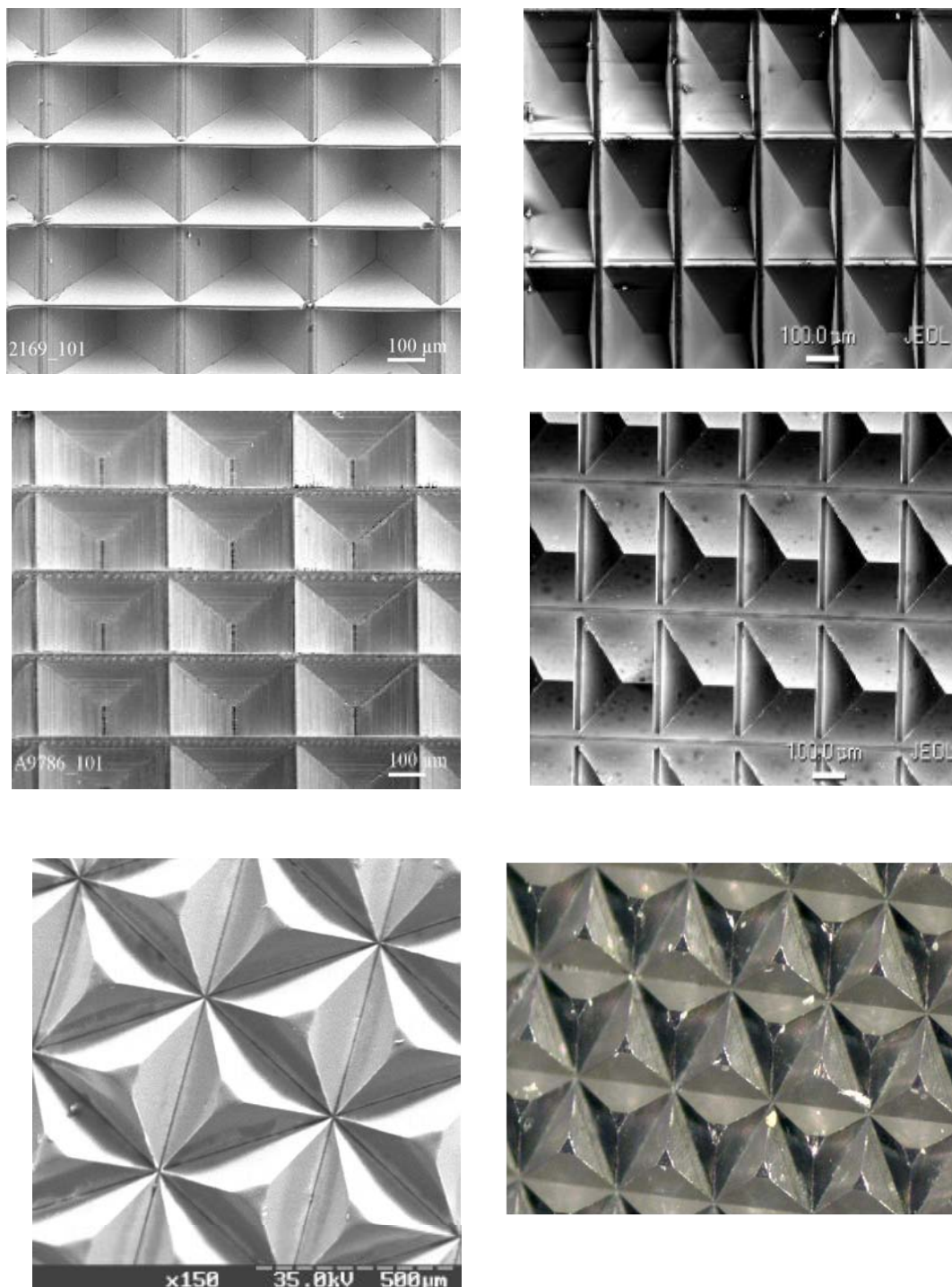


Рис. 2. Различные типы светоотражателей (катафотов)

ВЫВОДЫ

Научная кооперация в решении проблем оптического материаловедения позволила использовать огромный опыт и знания участников работы. Наряду с исследованиями на перспективу, научно-техническая кооперация позволяла оперативно решать многочисленные технологические проблемы, возникающие в процессе создания наукоемких изделий.

1. *Кравец В.Г., Косско И.А., Колесник М.А., Поперенко Л.В.* Эффект воздействия лазерного и термического отжига на оптические и структурные свойства металлических аморфных сплавов // Известия ВУЗов. Физика. — 2002. — **45**, № 4. — С. 29–37.

2. *Крючин А.А., Косско И.А., Гончаренко А.Б., Юдин Г.Ю., Сергиенко Т.И.* Исследование состава многокомпонентных пленок халькогенидных полупроводников, напыленных испарителем дискретного типа // Сб. трудов конференции «Эмиссия с поверхности полупроводников». — Львов, 1989. — С. 56.

3. Пат. України 2047. МКИ G11B3/58. Ионизатор. В.В.Петров, И.А.Косско, Т.Г.Косско П.В.Майстренко А.В.Ковальчук // Опубл. 15.09.2003; Бюл. № 9.

4. *Glazirin N.P., Kossko I.A., Kotko A.V., Gritsenko K.P.* Properties of Films, Deposited by Different Discharges in $Sb(C_2H_5)_3$ Vapour // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2000. — Т. 2, № 3. — С. 3–10.

5. *Косско И.А., Стецун А.И., Юхимчук В.А.* Исследование структуры нелегированных и фотолегированных серебром стекол GeS_2 и $GeSe_2$ с помощью комбинационного рассеяния света // Реєстрація, зберігання і оброб. даних — 2002. — Т. 4, № 4. — С. 3–9.

6. *Kossko I.A., Stetsun A.I., Yuhimtcuk I.A., Dvorina L.A.* Structure of Halcogenides Germanium Glasses Photodoped // By Silver Int. Meeting «Clusters and Nanostructured Materials». — Uzhgorod «Karpaty» (Ukraine). — 2006, October 9-12. — P. 311.

7. *Куликов Л.М., Семенов-Кобзарь А.А., Косско И.А. и др.* Диспергирование дихалькогенидов переходных металлов и их интеркалятов // Неорганические материалы. — 1997. — Т. 33, № 10. — С. 1190–1195.

8. *Костюкевич С.А. и др.* Формирование дифракционных оптических элементов с использованием неорганической лазерной литографии // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2002. — Т. 4, № 3. — С. 3–13.

9. *Остафійчук Б.К., Будзуляк І.М., Гасюк І.М., Косско І.О.* Особливості елементного складу поверхні монокристалів In_4Se_3 , підданих лазерній обробці // Фізика і хімія твердого тіла. — 2004. — Т. 5, № 1. — С. 81–84.

10. *Беляк Е.В., Кравец В.Г., Крючин А.А., Косско И.А., Погодина А.А.* Использование красителей с люминесцентным откликом для создания регистрирующих сред и защиты компакт-дисков от подделок // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2002. — Т. 4, № 3. — С. 9–15.

11. Пат. України 73611. МКИ 7G11B7/00. Носій для довготермінового зберігання інформації В.В.Петров, В.П.Семиноженко, В.М.Пузіков та ін. // Опубл.15.08.2005; Бюл. № 8.

12. Пат. України 74204. МКИ 7G11B7/24. Носій для довготермінового зберігання інформації. В.В.Петров, А.А. Крючин, С.М.Шанойло та ін. // Опубл. 15.11.2005; Бюл. № 11.

13. Металеві носії для довготермінового зберігання інформації. *Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М., Крючина Л.І., Косско І.О.* — К.: Наук. думка, 2005. — 132 с.

14. Крючин А.А., Косско И.А., Фирстов С.А., Дуб С.Н., Гринько Д.А. Сравнительный анализ твердости никелевых матриц для тиражирования компакт-дисков, выращенных по струйно-катодной технологии и технологии с вращающимся катодом // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2001. — Т. 3, № 2. — С. 3–11.

15. Петров В.В., Крючин А.А., Боднар С.В. та ін. Вплив фізико-хімічних параметрів процесу гальванічного осадження нікелю на характеристики штампів для тиражування компакт-дисків // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2004. — Т. 6, № 2. — С. 3–10.

16. Косско И.А., Журавлев В.С., Фирстов С.А. Прочность сцепления жидкого и отвердевшего поликарбоната с никелевыми матрицами, выращенными по различным схемам гальванопластики // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2001. — Т. 3, № 3. — С. 9–14.

17. Дыбань А.Ю., Косско И.А., Пилянкевич А.Н., Шагинян Л.Р. Ионно-стимулированная сорбция азота при термоионном осаждении нитрида галлия // Поверхность. Физика, химия, механика. — 1990. — № 2. — С. 67–72.

18. Косско И.А., Шагинян Л.Р., Бритун В.Ф. Влияние параметров осаждения на свойства пленок $\text{In}_2\text{O}_3\text{SnO}_2$ // Известия ТРТУ. Тематический выпуск трудов 6-й Межд. конференции «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники». — 2000. — № 3. — С. 6–9.

19. Оберемок А.С., Косско И.А., Крючин А.А. Артефакты высокочастотного распыления при формировании информационного рельефа в стеклах // Оптико-електронні інформаційно-електричні технології. — 2006. — №1(11). — С. 107–114.

20. Косско И.А., Курочкин В.Д., Кравец В.Г., Крючин А.А. Аналитические методы исследований тонкопленочных и наноструктурных материалов, используемых для оптической записи. Часть 1 // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2007. — Т. 9, № 1. — С. 3–26.

21. Косско И.А. Использование Оже-электронной спектроскопии при изучении адгезии // Труды Межд. конференции «Новейшие процессы и материалы в порошковой металлургии». — К., 1997. — С. 216.

22. Куцай А.Г., Васин А.В., Косско И.А., Венгер Е.Ф., Андреева Л.А., Гонтарь Л.А. Влияние остаточной атмосферы на формирование структуры пленок $\alpha\text{-SiC}$ при осаждении с помощью магнетронного распыления // Сверхтвердые материалы. — 1999. — № 3 (119). — С. 18–25.

23. Косско И.А., Крючин А.А., Кравец В.Г., Мохнюк А.А., Оберемок А.С. Формирование информационного рельефа в некоторых неметаллических материалах // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2006. — Т. 8, № 1. — С. 3–8.

24. Косско И.А., Крючин А.А., Панкратова А.В., Коржинский Ф.И., Серeda Л.Д., Серeda И.В. Формирование рельефных микроструктур на кремниевых подложках // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2006. — Т. 8, № 2. — С. 6–14.

25. Косско И.А., Крючин А.А., Панкратова А.В., Коржинский Ф.И., Серeda Л.Д., Серeda И.В. Si-SiO₂ и Si-SiO₂-SiC штампы // Сверхтвердые материалы. — 2006. — № 3. — С. 44–52.

Поступила в редакцию 30.05.2007