

УДК 004.085

И. В. Косяк

Институт проблем регистрации информации НАН Украины
ул. Н. Шпака, 2, 03113 Киев, Украина

Система записи оптических дисков высокой плотности

Проведены анализ и исследование систем записи оптических дисков высокой плотности. Рассмотрены особенности разработки системы записи оптических дисков форматов DVD и Blu-Ray. Предложена реализация устройства управления полупроводниковым лазером с длиной волны 405 нм для записи форматов Blu-Ray, DVD и CD.

Ключевые слова: *оптический диск, мастеринг, диск-оригинал, запись информации, формат записи, лазер.*

С каждым годом стремительно развиваются информационные технологии и видео высокой четкости. При этом неуклонно возрастают объемы информации в электронной форме, и неизмеримо возрастает скорость обмена информацией. Объемы обработки и сохранения информации уже исчисляются сотнями и тысячами мегабайт. Таким образом, создание быстрых и надежных устройств высокой плотности записи всегда будет актуальным вопросом.

В июне 2002 года был официально объявлен новый физический формат оптической памяти 3-го поколения, названный в дальнейшем Blu-Ray-форматом. Официально выпуск приводов Blu-Ray начат в 2006 году. Объем записанной информации для формата Blu-Ray составил 25 Гб. Впервые появились двухслойные диски с объемом записанной информации 50 Гб. В 2010 году Blu-Ray Disc Association (BDA) объявила о завершении разработки и выпуска спецификаций новых многослойных дисков записи BDXL формата Blu-Ray. Емкость трехслойных дисков BDXL составила 100 Гб и четырехслойных 128 Гб соответственно [1].

В таблице, приведенной ниже, представлены физические параметры оптических дисковых систем считывания и мастеринга оптических дисков (записи дисков-оригиналов), где можно увидеть историю развития оптической записи [2–5].

Одним из основных преимуществ оптических дисков CD, DVD, а теперь и Blu-Ray есть простота и низкая стоимость тиражирования дисков. Мастеринг оптических дисков является ключевым шагом в создании штампа, с которого копируются диски ROM (read-only memory).

Физические параметры оптических дисковых систем считывания и мастеринга

Система	Год выпуска	λ лазера, нм		NA, апертура		Диаметр пятна лазера, мкм		Емкость, Гб/слой	Диаметр диска, см
		при считывании	при мастеринге	при считывании	при мастеринге	при считывании	при мастеринге		
Laser disc	1978	0,780	–	0,50	–	1,90	–	4,5	30
CD	1983	0,780	0,442	0,45	0,90	2,11	0,599	0,7	12
DVD	1997	0,650	0,405	0,60	0,90	1,32	0,549	4,7	12
HD-DVD	2006	0,405	0,375	0,65	0,90	0,76	0,508	16	12
Blu-Ray	2006	0,405	0,257	0,85	0,90	0,58	0,361	25	12

На сегодняшний день для записи оптических дисков-оригиналов высокой плотности или мастеринга оптических дисков доступны 3 системы, которые отличаются способами записи и разными технологическими подходами. К дискам высокой плотности прежде всего относятся диски форматов Blu-Ray и DVD. Согласно спецификации на формат Blu-Ray минимальные размеры питов составляют 149 нм, а шаг дорожки 320 нм [1]. Для записи питов таких малых размеров были разработаны инновационные технологии, благодаря которым созданы следующие мастеринг системы:

- система с глубоким ультрафиолетовым облучением и с жидкой иммерсией (deep-UV liquid immersion mastering system) [6];
- система с фазовым переходом (Phase Transition Mastering system — PTM) [1];
- система электронно-лучевого мастеринга (Electron Beam Mastering) [7].

Основой для производства компакт-дисков любых форматов являются станции лазерной записи, которые обеспечивают рельефную запись дисков-оригиналов для оптической памяти, и есть одними из наиболее сложных современных оптико-электронных систем.

Анализ исследований и публикаций [1–12] свидетельствует о том, что освещению проблемы построения и работы станций лазерной записи отводится весьма мало внимания. В доступной литературе имеются только сообщения о создании таких станций известными компаниями, где отмечаются их краткие характеристики.

Известны система мастеринга с глубоким ультрафиолетовым облучением и с жидкой иммерсией формата Blu-Ray «LBR 266 mastering system» [8] и система мастеринга с глубоким ультрафиолетовым облучением «M8100 BD Mastering System» от компании *Nimbus* [9]. Система мастеринга с фазовым переходом «PTR-3000» формата Blu-Ray разработана *Sony Disc Technology* [10]. Стоимость систем мастеринга находится в пределах \$2–5 млн.

Информация о технологических особенностях и тонкостях их построения остается недоступной и закрытой. Поэтому для создания отечественной станции лазерной записи необходимо решить сложную научно-техническую задачу.

В Институте проблем регистрации информации НАН Украины была создана единая действующая станция лазерной записи в Украине. Актуальной задачей остается усовершенствование ее работы и исследование новых принципов ее построения. Данная работа посвящена анализу и исследованию построения систем для записи оптических дисков высокой плотности.

Разработка системы записи оптических дисков высокой плотности

Построение систем записи оптических дисков высокой плотности, таких как DVD и Blu-Ray, требует проектирования нового оборудования и создания очень низкой механической связи между системой и внешней окружающей средой. При переходе на новые форматы записи DVD и Blu-Ray на станции лазерной записи были выполнены разработки новых системных блоков.

На рис. 1 представлен общий вид станции лазерной записи. Для устранения нежелательных механических колебаний оптико-механический блок расположен на гранитной плите, которая держится на специальных опорах.

С целью повышения точности измерения координаты движения позиционера была разработана новая схема управления приводом позиционера на основе лазерного цифрового интерференционного дальномера с абсолютным отсчетом координаты и точностью $\leq 0,6$ нм. Обработка интерференционных сигналов выполнена на программном уровне [13]. Измерительная система привода позиционера построена на основе синусно-косинусного интерполятора с системой слежения [14].

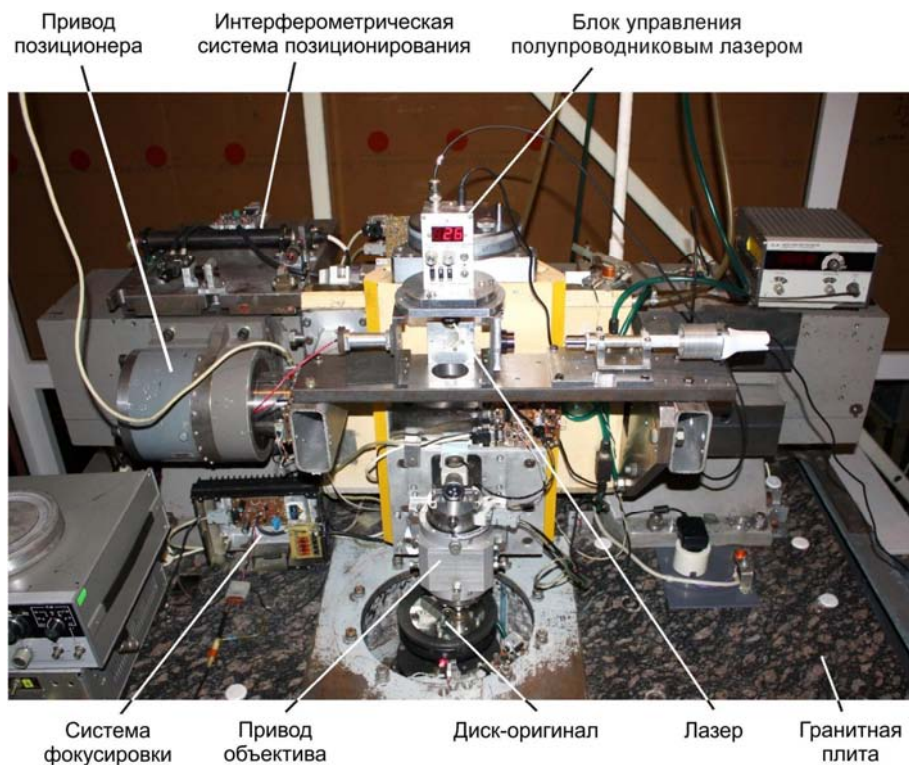


Рис. 1. Общий вид станции лазерной записи без блока управления

В системах мастеринга при записи дисков-оригиналов форматов Blu-Ray и DVD существенным образом повышаются требования к системе автоматического регулирования фокусировки. В разработанной системе фокусировки для повышения ее динамических свойств в качестве исполнительного устройства вместо традиционного электромагнитного механизма был применен пьезоэлектрический [15].

Реализация устройства управления полупроводниковым лазером с длиной волны 405 нм

При построении системы записи оптических дисков высокой плотности, в частности, форматов Blu-Ray и DVD, возникает необходимость в разработке блока устройства управления полупроводниковым лазером с длиной волны 405 нм, который будет обеспечивать необходимую по параметрам форматов Blu-Ray и DVD модуляцию лазерного излучения на станции лазерной записи.

Необходимое управление полупроводниковым лазером обеспечивается схемотехническими приемами и средствами. Мощность излучения P_L полупроводникового лазера четко зависит от тока I_L в так называемой активной зоне его работы. Следовательно, модуляция генерируемого излучения, осуществляется путем модуляции тока накачки I_L . Принципиальная схема разработанного устройства построена с использованием аналоговых и цифровых компонентов. В устройстве используется три независимых канала управления мощностью излучения лазера с отдельным управлением по току и модуляции (рис. 2).

Проведен анализ и исследование распределения интенсивности лазерного излучения новой оптической системы с разработанным устройством управления полупроводниковым лазером, установленной на станции лазерной записи и оптической головки привода Blu-Ray LG. Установлено, что распределение интенсивности лазерного излучения новой оптической системы (лазер China) практически соответствует распределению Гауса (нормальное распределение). В отличие от новой оптической системы (лазер China) распределение интенсивности лазерного излучения оптической головки привода Blu-Ray LG показало, что она имеет несколько меньший диаметр луча и более выраженное сосредоточение энергии лазерного излучения в верхней части графика распределения (рис. 3). Такое харак-



Рис. 2. Изображение разработанного устройства управления полупроводниковым лазером длиной волны 405 нм

терное распределение интенсивности лазерного излучения оптической головки привода Blu-Ray LG объясняется использованием особой схемы оптической системы.

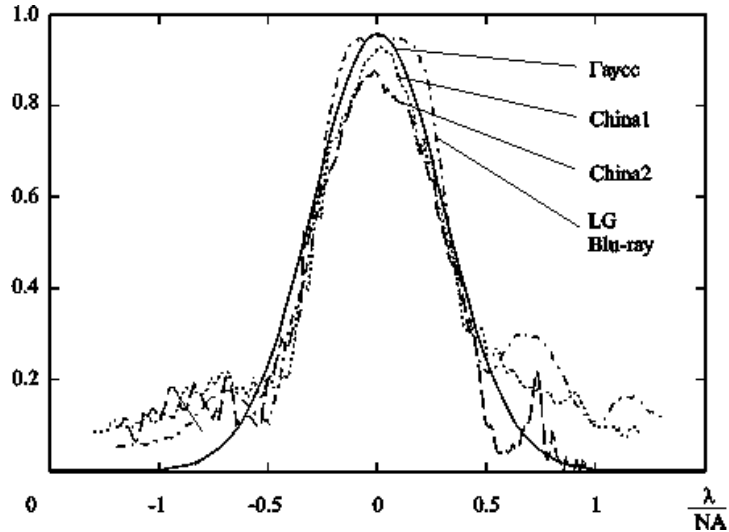


Рис. 3. Графики распределения интенсивности лазерного излучения. Расстояние по оси x отложено в дифракционных единицах, которая равна 476 нм при $\lambda = 405$ нм и $NA = 0,85$

При работе полупроводникового лазера с модуляционными частотами более 10 МГц и малыми длительностями нарастания фронта импульса <10 нс неизбежно возникают переходные процессы в излучении (рис. 4,а). Это приводит к искажению информации, передаваемой с помощью импульсно-кодовой модуляции. Наличие медленно затухающих колебаний вызвано рассогласованием выходного сопротивления блока модуляции и входного сопротивления лазерного диода по переменному току. Для подавления затухающих колебаний были использованы корректирующие звенья.

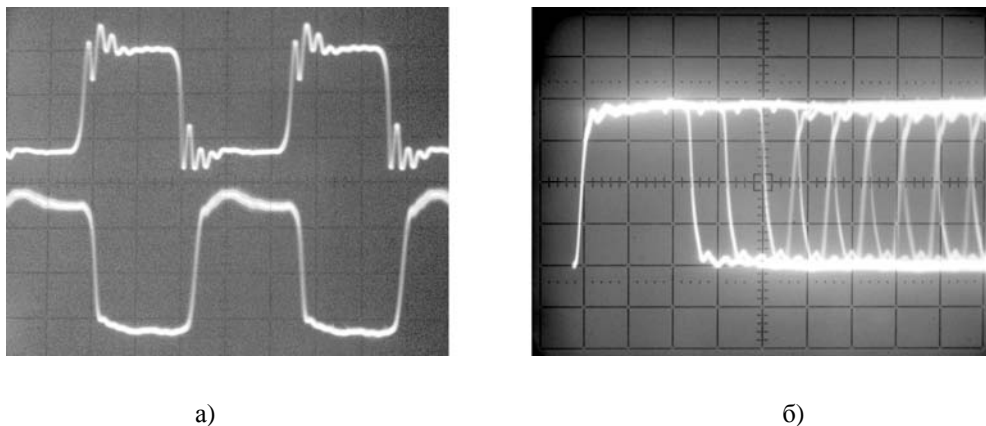


Рис. 4. Осциллограммы сигналов, цена деления развертки по горизонтали 50 нс: а) пример наличия в сигнале паразитных затухающих колебаний; б) осциллограмма сигнала модуляционного канального кода NRZI формата DVD на выходе устройства управления полупроводниковым лазером

Экспериментальные результаты

Были проведены экспериментальные записи дисков-оригиналов на станции лазерной записи оптических носителей информации с использованием лазера Power Technology со своей схемой управления и разработанного устройства управления полупроводниковым лазером с длиной волны 405 нм.

На рис. 5 представлены изображения питов, полученных при записи импульсных сигналов длительностью 192 нс (соответствуют сигналам 5Т формата DVD) на диски-оригиналы, покрытые слоем стандартного органического фоторезиста, с использованием полупроводникового лазера Power Technology со своей схемой управления. Расположение питов отличается от прямолинейного и носит упорядочено-хаотичный характер, что может быть следствием непостоянства режима работы лазера и смещением точки излучения на период действия импульса записи. Можно также предположить, что генерация излучения лазера происходит на побочной (не основной) поперечной моде.

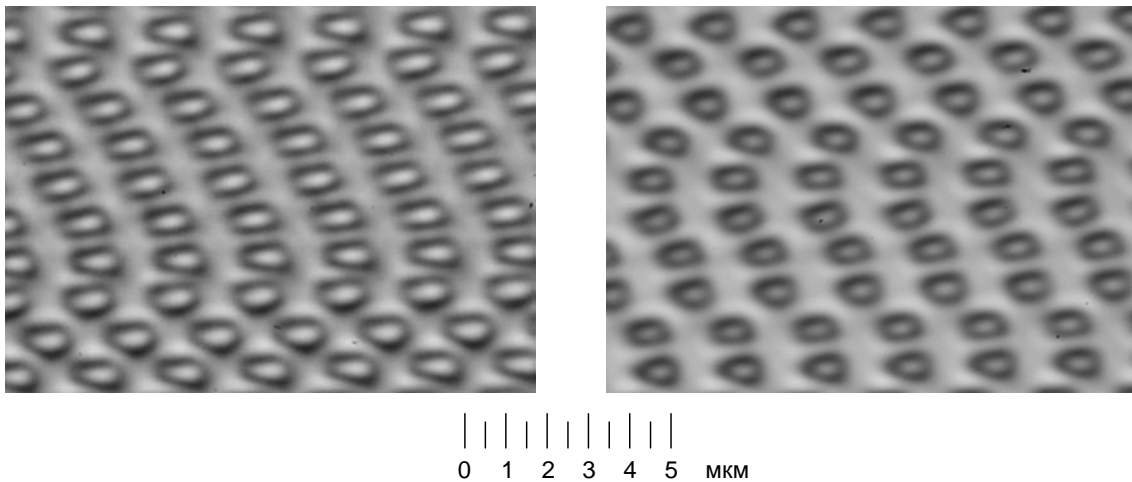


Рис. 5. Изображения питов, записанных лазером Power Technology с различными уровнями мощности. Импульсные сигналы соответствуют сигналам 5Т формата DVD

Результаты экспериментального исследования работы разработанного устройства управления полупроводниковым лазером в условиях реальной записи сигнала формата DVD на диски-оригиналы представлены на рис. 6. Как модуляционный сигнал использовался сигнал импульсно-кодовой модуляции NRZI формата DVD (рис. 4,б). Диски-оригиналы покрыты опытными образцами регистрирующего слоя, состоящего из органического фоторезиста с добавлением полиметиновых красителей. Данный регистрирующий состав обладает свойствами терморезиста, который под воздействием луча лазера удаляется без остатка с поверхности подложки диска-оригинала за счет локального испарения. Анализ изображения питов показывает, что на отдельно взятом диске во время записи произошел неудачный процесс газификации с наличием побочных продуктов испарения фоторезиста (рис. 6,а), на других геометрия питов без искажений. Ширина питов составила ≈ 500 нм.

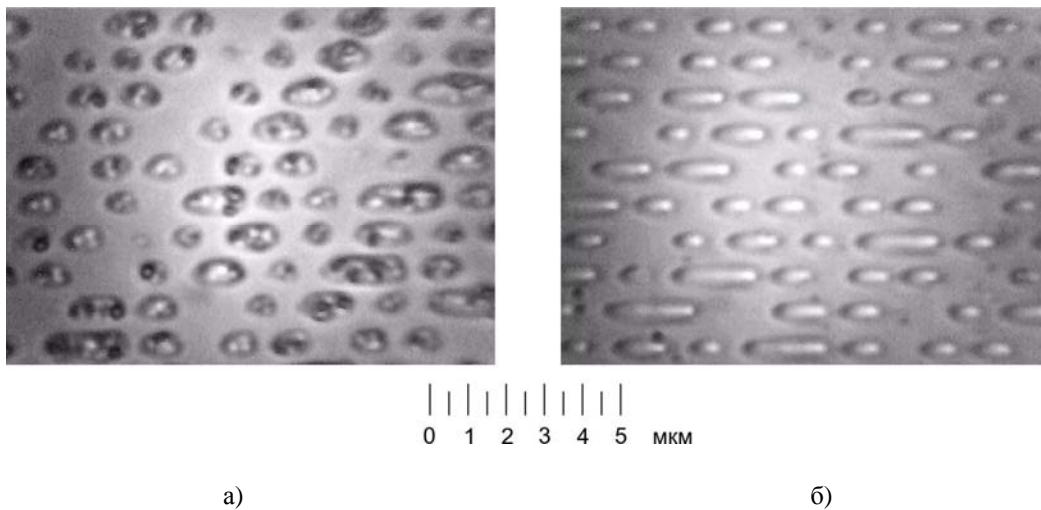


Рис. 6. Изображение питов формата DVD, записанных на органическом фоторезисте с добавлением полиметиновых красителей с использованием разработанного устройства управления полупроводниковым лазером: а) наличие продуктов газификации; б) нормально записанные питы

На рис. 7 представлены результаты записи на органическом фоторезисте. Питы получены при записи импульсных сигналов длительностью 115 нс (соответствуют сигналам 3Т формата DVD) на диски-оригиналы, покрытые слоем стандартного органического фоторезиста. Ширина питов составила ≈ 450 нм

Анализ результатов записей дисков-оригиналов, проведенных на станции лазерной записи, показал, что для уменьшения размеров питов необходимо дальнейшее усовершенствование оптической системы с применением других объективов для формирования более узкого луча лазера. Также предпочтительней производить записи на органическом фоторезисте с использованием высококонтрастного проявителя.

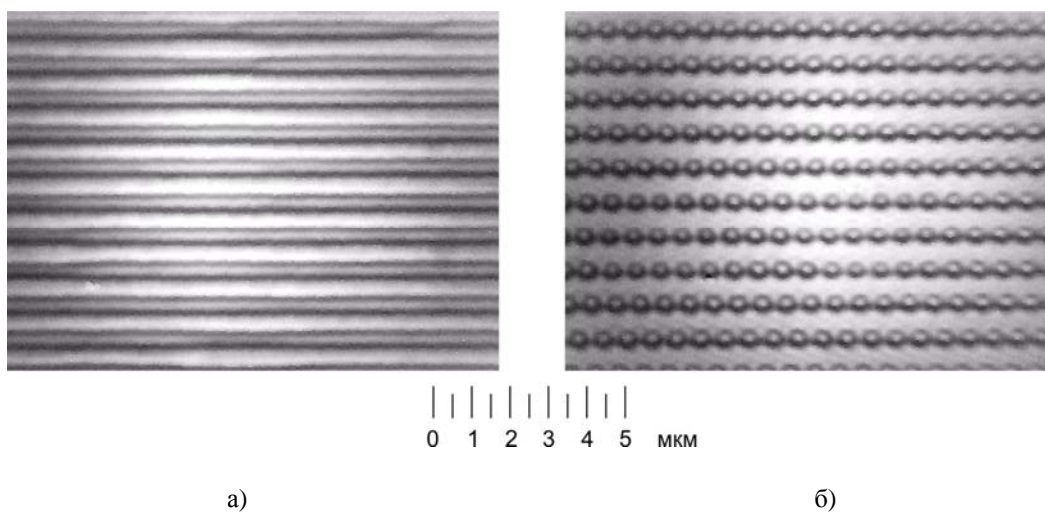


Рис. 7. Изображение питов, записанных на органическом фоторезисте: а) запись без модуляции; б) импульсные сигналы соответствуют сигналам 3Т формата DVD

ВЫВОДЫ

Проведен анализ и исследование систем мастеринга оптических дисков высокой плотности. Предложена реализация разработки устройства управления полупроводниковым лазером с длиной волны 405 нм. Основной особенностью разработанного устройства является наличие 3-канального управления выходной мощностью излучения лазера с возможностью регулирования опорного тока (bias). Это обеспечивает более широкие возможности для применения необходимой модуляции канального кода (стратегии записи) согласно требованиям различных регистрирующих материалов для дисков-оригиналов.

1. *White paper Blu-ray Disc Format*. — General. — 2-d ed. — October, 2010.
2. *120 mm DVD — Read-Only Disk*. — Standard ECMA-267. — 3-d ed. — April 2001.
3. Bernhard Wondra, Harald Rossmeier. Next Generation Disc Mastering with 375 and 405 nm Diode Lasers // TOPTICA Photonics AG. — A-1003, January 2007.
4. *Yamamoto M.* The Technology Innovation in Optical Disc Mastering / M. Yamamoto. — Sony Corporation. — Oct. 21, 2003.
5. *Van de Nes A.S.* High-Density Optical Data Storage / Van de Nes A.S., Braat J.J.M., Pereira S.F. // Reports On Progress In Physics. — 2006. — Vol. 69. — P. 2323–2363.
6. *Liquid Immersion Deep-UV Optical Disc Mastering for High Data Capacity ROM Discs* / Neijzen Jaap H.M., Meindersb Erwin R., Boamfaa Marius I., Dianyong Chenc // Proc. SPIE. Seventh International Symposium on Optical Storage . — 2005. — Vol. 5966.
7. *Fabrication of Optical Disc Mastering Using Electron Beam and Embossing Process* / C.T. Pan, S.C. Lo, J.C. Yang, Y.J. Chen // Optical and Quantum Electronics. — 2007. — Vol. 39. — P. 693–705.
8. *LBR 266* — Mastering Technology for High Density Formats: Already in the Market // Special Issue Media-Tech Showcase & Conference. — September, 2005.
9. *M8100 BD Mastering System* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.optical-disc.com>; http://www.optical-disc.com/resources/ProductDocuments/M8100_Spec_Sheet.pdf
10. *Phase Transition Mastering* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.sonydad.com/inc/tech/ptm.html>
11. *Thermal Recording for High-Density Optical Disc Mastering* / Nobuki Yamaoka, Shigenori Murakami, Yukihiro Sugawara [et al.] // Jpn. Journal of Applied Physics. — 2010. — Vol. 49. — P. 08KG03-1–08KG03-4.
12. *Improvement of Electron Beam Recorder for Mastering of Future Storage Media* / Yasumitsu Wada, Hiroshi Tanaka, Hiroaki Kitahara [et al.] // Jpn. Journal of Applied Physics. — 2008. — Vol. 47. — P. 6007–6012.
13. *Пути совершенствования характеристик запоминающих устройств большой емкости* / В.В. Петров, А.А. Крючин, А.И. Брицкий [и др.] // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2010. — Т. 12, № 2. — С. 12–24.
14. *Косяк І.В.* Удосконалення вимірювальної системи приводу позиціонера станції лазерного запису / І.В. Косяк // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2008. — Т. 10, № 2. — С. 83–86.
15. *Бріцький О.І.* Шляхи вдосконалення сервопривода системи автоматичного фокусування станції лазерного запису оптичної інформації / О.І. Бріцький, В.О. Атаєв, В.М. Христін // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2007. — Т. 9, № 4. — С. 107–118.

Поступила в редакцию 19.08.2012