

ЛАЗЕРНАЯ ГРАФИКА

В. П. БЕССМЕЛЬЦЕВ



Еще в 90-е годы прошлого века в одном из докладов конгресса США отмечалось: «США не смогут дальше также успешно и последовательно осуществлять ведущую роль в мире, если не добьются перехода с индустриальной базы развития на информационную».

Одним из важных элементов перехода на новую информационную дорогу развития стали лазерные средства и технологии ввода/вывода информации, настолько органично вписавшиеся в новую постиндустриальную эру, что мы уже перестали задумываться над особенностями развития прогресса, пользуясь оптическими дисками гигабайтной емкости, волоконными линиями связи, лазерными принтерами и сканерами. Однако в 1980-е годы эффективность пути развития информационных технологий на основе лазерных средств была далеко неочевидной.

Лазерная графика как термин и как самостоятельное направление возникла из синтеза компьютерных и лазерных технологий для ввода и регистрации графических или полутонных изображений на различные носители. Одним из первых и относительно успешным прорывом в этой области стало создание в 1975 г. фирмой IBM рекордного по цене (\$500 тыс.), но и по скорости печати (до 100 листов в секунду) лазерного принтера. Развитие лазерной и вычислительной техники позволило в 1982 г. компании Hewlett-Packard снизить цену лазерного принтера до \$22 тыс. (правда, и скорость также снизилась до 20 листов в секунду) и впоследствии захватить многомиллиардный рынок офисных, а теперь и домашних лазерных принтеров.

Соединение лазерной и вычислительной техники произвело коренной переворот в издательском деле, полностью вытеснив старую дореволюционную технологию и в последнее десятилетие вторгнувшись непосредственно в печат-

ный процесс.

Однако начальная стадия разработок лазерных систем и устройств вывода твердых копий изображений, в том числе на бумажный носитель, происходила, особенно в нашей стране, в атмосфере сильного противостояния со стороны сторонников "безбумажной информатики" и специалистов полиграфической промышленности, привыкших мыслить терминами символического фотонабора и фоторепродукционных камер для цветоделения.

Аргументом первых была тенденция к увеличению емкости внешней памяти ЭВМ и улучшению разрешения новых средств отображения, а также стоимость и габариты (1×1.2×2.5 м) первого лазерного принтера. Вторые защищались специфичностью отрасли, в которой даже размеры шрифта определялись не в метрических единицах, а в известных только им условных единицах - кеглях, которые измерялись в не менее загадочных пунктах (0.35 мм), а основным критерием качества полученного отпечатка служил вердикт консилума специалистов.

Но широкое внедрение вычислительной техники и особенно мини- и далее персональных ЭВМ резко увеличило объем именно бумажных документов, стимулировав соответствующий всплеск разработок средств ввода-вывода твердых копий. Неуклонный рост производительности вычислительной техники при сокращении ее стоимости и габаритов ускорил разработку адекватных средств вывода информации.

С другой стороны, бурное развитие лазерных технологий записи информации и соответствующих аппаратных средств было связано с использованием лазерной техники в гражданской промышленности (особенно в электронной и радиопромышленности), военно-промышленном комплексе и в области научных исследований. Уникальные особенности лазерного излучения - возможность получать сверхвысокую локальную плотность мощности, а следовательно, и воздействия на регистрирующий материал позволяли резко увеличить скорость регистрации и производить бесконтактную запись информации не только на поверхности, но и в объеме носителей, чего невозможно добиться традиционными методами. Кроме того, разрешение лазерных приборов ограничивалось только длиной волны используемого источника и, таким образом, могло достигать порядка 1 мкм.

Хорошее начало - половина дела

В ИАиЭ работы по лазерным технологиям вывода информации стали естественным продолжением тематики, заложенной академиком Ю. Е. Нестерихиным (в то время чл.-кор. АН СССР) по разработке прецизионных систем ввода-вывода изображений в 1975 г., и также были стимулированы задачами и средствами заказчика. Лаборатория лазерной графики образовалась в ИАиЭ в 1989 г. и объединила разнородные, на первый взгляд, но хорошо развитые в институте направления - оптики, вычислительной техники и лазерной физики. Из созданной в 1980 г. тематической группы ввода-вывода изображений из 6 человек, несмотря на наступившую «перестройку», «выросла» лаборатория численностью 16 человек, которая в результате очередной смены директора сменила свое название на нынешнее.

Первое лазерное устройство ввода-вывода изображений (рис. 1) было создано в ИАиЭ в содружестве с Московским полиграфическим институтом (МПИ) на базе разработанного в институте устройства «Ромб», аналогом которого служило устройство фирмы «Фотомейшн» (США).

«Ромб» представлял собой симбиоз устройств ввода информации с гибких прозрачных носителей (фотопленки) и вывода на высокочувствительную фотопленку с помощью светодиода, модулируемого током. Механизм сканирования выполнен в виде синхронно вращающихся барабанов. На одном устанавливался образец для ввода, на другом - широкая аэрофотопленка. Было предложено модернизировать выводную часть устройства, установив лазерный источник излучения с внешней модуляцией. Основанные на данных зарубежных исследований опыты, которые в это время проводили в МПИ, показывали, что сфокусиро-

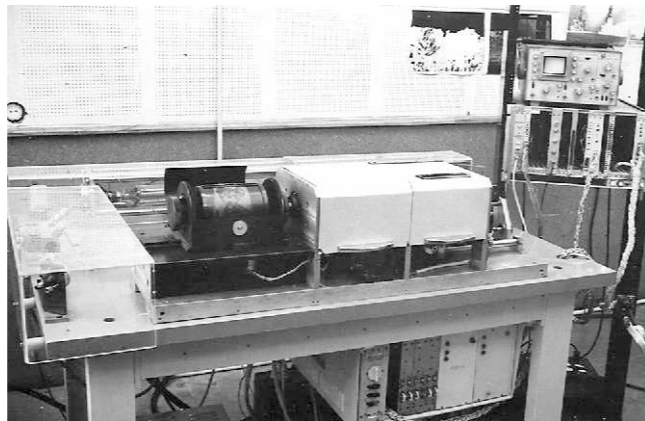


Рис. 1. Лазерное устройство ввода-вывода изображений на основе 10 Вт CO₂-лазера. Шаг дискретизации - 25 мкм, скорость ввода-вывода 10 кБ/с. 1979 г.

ванное примерно в 100 мкм излучение CO₂-лазера мощностью около 10 Вт может заменить резец в аппаратах механического гравирования печатных форм глубокой печати на ряде пластиков. Но объединить мощный лазер с компьютером для создания выводного устройства в то время никто не осмеливался...

Мощные высоковольтные источники питания лазеров и электрооптических модуляторов были несовместимы в глазах компьютерщиков с капризными ЭВМ и вызывали у них сильное беспокойство при подключении к управляющей миниЭВМ HP 2116. Неудивительно, что Ю. Е. Нестерихин дал два месяца на эксперименты, сильно сомневаясь в их исходе, да и то под нажимом В. П. Коронкевича. Однако первые картинки в виде печатных форм (рис. 2), полученные гравированием целлулоида с окрашенным верхним слоем, показали реальность и эффективность работы с носителями, не требующими проявления и



Рис. 2.

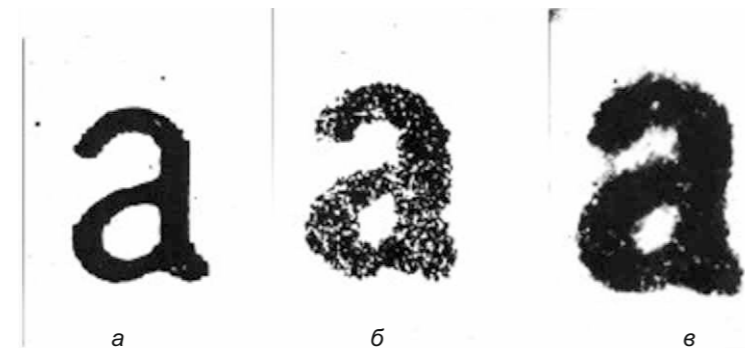


Рис. 3. Увеличенные в 10 раз образцы, полученные методом лазерного гравирования (а), термопереноса копировального слоя (б), термоприпекания специального тонера на бумажный носитель (в). 1980 г.

темной комнаты. И, по-видимому, это стало **первым в мире** устройством вывода информации в виде печатных форм! Заметим, что серийные устройства такого типа появились на Западе лет через 10, а широкое распространение получили только в XXI в. Понятно, что вопрос о перспективности такой техники в то время вызывал у «настоящих полиграфистов» лишь улыбку: «Этого еще на Западе нет, а тут вы чего-то выдумываете...». Но, как пишут классики, «жизнь сложнее всяких схем»...

Следующим толчком к развитию этого направления в Институте стала практическая проблема. В ряде специальных приложений требовались скоростные системы вывода информации из ЭВМ, обладающие повышенной достоверностью и надежностью. Разработанная к тому времени в США технология лазерной электрографии в силу многостадийности процесса и зависимости качества вывода от внешних условий (особенно от влажности) уже не соответствовала этим требованиям. Остальные технологии также либо не обладали нужным качеством печати (например, порошковая магнитография), либо были основаны на механизмах ударной электромеханической печати с недостаточной надежностью. Мы начали разработки одностадийных технологий, основанных на термических лазерных реакциях высокоинтенсивных пучков с различными однородными и многослойными носителями (рис. 3).

Первые успешные эксперименты показали, что принципиально термографические технологии можно использовать для решения задач вывода графической информации, однако механизм взаимодействия мощных лазерных пучков с материалами для получения изображений не ясен; средств лазерной техники, необходимых для создания систем вывода информации, нет. Да и самого термина «лазерная термография» в то время не существовало. По сути, не было ничего: ни систем сканирования лазерного пучка высокого разрешения, ни блоков управления такими сканерами, ни оптики формирования стабильного сканирующего пятна на больших форматах изображений (А4 и более), ни системотехнического подхода к проектированию таких систем, как со стороны электронных модулей управления, так и со стороны подготовки и вывода данных (математическое обеспечение)... Все это нам пришлось разрабатывать «с нуля», имея только доступ к переводным журналам и непереуведненным патентам, причем изготовленные по ним изделия почему-то никогда не работали так, как было заявлено в описании... Своими силами и в содружестве с

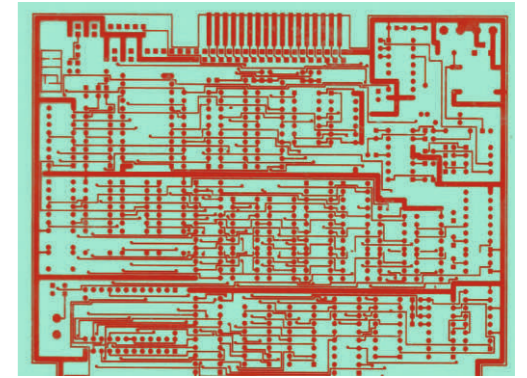


Рис. 4. Лазерная термохимическая технология получения медных слоев на диэлектрических подложках (совместно с ИХТТ и ПМС СО РАН).
 $2Cu(H_2PO_4) \xrightarrow{\quad} 2Cu + 2H_3PO_4 + P_2O_5$
 $Ni(Hxxx) \xrightarrow{\quad} Ni + \dots + / \dots$
 Чувствительность 0.10.3 Дж/см²
 Разрешение 4000 лин/мм
 Образец печатной платы (размеры 250×200 мм) 1984 г.

другими институтами мы разработали ряд одностадийных термографических технологий записи изображений, основанных на быстрых термических процессах, которые происходят на поверхности различных материалов под действием лазерного пучка инфракрасного диапазона.

И хотя ранее основной задачей советской науки было «прокукарекать», а «рассветет или нет», нас вроде бы и не касалось, на этот раз (спасибо незабвенному ВПК!) работа была доведена до выпуска устройств и даже ГОСТов, ориентированных на такие технологии.

Сначала (в 1985 г.) для нужд ВПК был выпущен опытный экземпляр первого в России лазерного принтера на основе собственных оригинальных технологий, аппаратных и программных средств (рис. 5). Заказчик работу принял и выделил деньги на ОКР, который мы успешно выполнили совместно с СКБ НП (рис. 6). Разработанный в рамках этой темы зеркальный сканер лазерного пучка с интерферометрическим контролем угла поворота зеркала имел уникальные характеристики по разрешению (более 100 000 разрешимых позиций для угла ±12°) и работал с пучками мощностью более 100 Вт (λ = 1.06 мкм) с частотой развертки более 150 Гц.

Технические решения, разработанные при проектировании лазерного принтера, послужили основой развития всей советской полиграфии нового поколения. Документация по сканеру, модулям управления устройством и методика цифровой коррекции аберраций оптической системы были переданы объединению «Ленполиграфмаш» по их настоятельной просьбе. На этой основе и с нашей же помощью была создана первая в СССР автоматизиро-



Рис. 5. Первый в СССР лазерный принтер. Технология лазерный термоперенос. Лазер 20 Вт ИАГ. Система сканирования с интерферометрическим контролем угла положения.

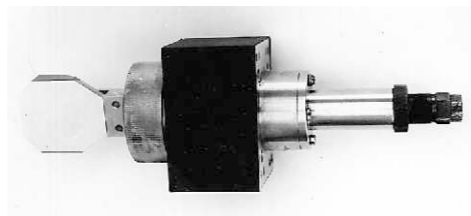


Рис. 6. Сканер лазерного пучка с интерферометрическим контролем.

ванная система переработки текста и черно-белых иллюстраций. Система была поставлена в издательство газеты «Правда» и ряд других издательств, а выводные устройства ФЛП (вывод на фотопленку) и ФЛК (вывод на бумагу) выпускались серийно до середины «перестроечного» периода.

Относительно успешный рост объясняется не только актуальностью тематики, но и тем, что с самого начала был выбран нетрадиционный подход к задачам вывода/синтеза изображений. В отличие от западных коллег, опирающихся на «гигантов» индустрии по производству фотоматериалов и технологий печати (Kodak, Xerox, Polaroid, Cannon и др.), мы могли рассчитывать только на свои собственные силы: отечественная промышленность тогда едва справлялась с планами выпуска обычной фотопленки, а электрографический процесс вообще находился в зачаточном состоянии. В силу этого мы предприняли самостоятельную попытку обойти процессы фотозаписи и, соответственно, дальнейшей обработки.

Добиваясь предельных параметров по разрешению и точности и ориентируясь на качественные характеристики, достигнутые при записи фотоспособами, нам удалось создать ряд прецизионных приборов, позволяющих выводить изображения на форматы более 600×800 мм с шагом 5 мкм и точностью с абсолютной ошибкой в 25 мкм на всем поле записи.



Рис. 7. Серия лазерных термографических имиджсеттеров "СО₂ РОМБ". Отличительные особенности: использование непрозражаемых бессеребрянных материалов, работа в незатемненном помещении, высокая точность (± 25 мкм) и разрешение (12,5 мкм). Максимальные форматы носителей 520×600 или 660×840 мм.

Таким образом, мы практически реализовали мечту генетиков: «вывели овцу, которая давала шерсть, молоко и яйца». Наши устройства, реализующие термографические методы записи, позволяли изготавливать печатные формы для офсетной печати, фотоформы, фотооригиналы печатных плат, слайды, печати, гибкие кабели, шильдики для радиоаппаратуры, гравировать формы для флексографской или глубокой печати, причем все эти процессы реализуются в одну стадию и на свету. Правда, есть и существенный недостаток - чувствительность материалов низкая (поскольку использовались материалы, не предназначенные для лазерной записи), поэтому скорость записи ниже по сравнению с аппаратами, использующими фотопленку. Однако универсальность и использование дешевых регистрирующих материалов, не требующих проявления, позволили выжить в условиях постсоветского развала. Правда, какой ценой! Мечты «Радиопрома» оснастить нашим оборудованием всю отрасль (для чего даже был выделен завод в Минске) рассеялись, как и сам «Радиопром». Конечно, по переданной нами документации, разработанной с помощью тогда еще «нашего» СКБ НП, в Минске было выпущено более 20 фотопостроителей. Но, естественно, уже под своей маркой, и потому нам, как всегда, ни копейки от этой операции не перепало...

Для того чтобы оставаться «на плаву», нам пришлось все делать в родном институте, иными словами, совмещать разработку и выпуск опытных и мелкосерийных образцов. Из нашего опыта теперь можно заключить, что при таком подходе пострадали оба компонента, а более всего - люди, которые были ориентированы на исследовательскую работу, но ради выживания занимались изготовлением, отладкой, запуском у заказчика и гарантийным обслуживанием устройств. Слава богу, первая волна «перестройки» не смыла из институтских мастерских высококвалифицированных рабочих. Правда, она же практически уничтожила российские предприятия по выпуску лазеров и электроники. Но нет худа без добра: сейчас мы точно знаем, как сильные, так и слабые стороны наших технологий и приборов не по нами же выдуманном критериям, достаточно хорошо понимаем наш уровень относительно западных образцов и уже почувствовали разницу между лазером фирмы "Synrad" США и НПО "Плазма" Рязань.

В 1990 г. новые разработки в нашей области пришлось резко уменьшить, в то время как «за бугром» возникла обратная тенденция. Однако на помощь пришел заказчик из далекой Индии, вложивший деньги в разработку (но не в технологию) нового фотопостроителя.



Рис. 8. Ромб Vis 1993 г. 16 лучевой лазерный фотопостроитель для полиграфии и производства фотооригиналов печатных плат. Шаг дискретизации 5-25 мкм, поле записи (в зависимости от модели) до 700×900 мм. Время вывода кадра 6 мин.

Специальные приборы заказывали канадцы, иранцы, но никак не российское Министерство науки. Конечно, приятно сознавать, что почти все печати малых и не только предприятий Академгородка (да и более половины новосибирских) выполнены на наших устройствах, как и фотооригиналы печатных плат в ИЯФ, «ПС Электро», «НПО Север». Приятно, что формы для офсета производятся по нашим технологиям и на нашем оборудовании в 20 различных городах СНГ, а в лазерных фотонаборных автоматах производства «Ленполиграфмаш» основные узлы выполнены по нашим разработкам. Но почему-то было бы куда приятнее знать, что на тему по разработке устройства для вывода твердых копий объемных изображений пришли подписанные министерством деньги, а по гранту на такую перспективную тему, как разработка технологии и рабочей станции по записи трехмерных прототипов изделий, пришло бы не 1/10 от подписанного, а хотя бы 1/3... Да еще бы с индексацией!.. Мечты, мечты...

Кстати, последняя тематика требует пояснения. Существует несколько названий этого нового процесса: быстрое прототипирование, стереолитография, технология послойного синтеза. Суть процесса проста, как все гениальное: спроектированное изделие (конечно, с помощью мощной САПР типа Autocad и т. д.) автоматически разбивается на тонкие (порядка 100 мкм) слои. Каждый слой изготавливается в специальном устройстве (так называемой рабочей станции) и там же слои совмещаются и автоматически скрепляются между собой.



Рис. 9. Универсальный лазерный гравер. Поле записи 300×400 мм, шаг дискретизации 14 мкм, перемещение по Z = 150 мм с шагом 50 мкм. Лазер CO₂ 30-50 Вт. Области применения: изготовление печатей, сувениров, шильдиков для радиоаппаратуры и т. д.

Первые экспериментальные результаты в этом направлении были получены нами в 1994г. при тесном взаимодействии с группой А. А. Аполонского (лаборатория чл.-кор. РАН С. Г. Раутиана) и лабораторией П. Е. Твердохлеба и его активном участии как директора Института. Кроме того, созданное на основе разработок и коллектива ИАиЭ НПО "Инверсия" изготовило для макета рабочей станции уникальный лазер УФ-диапазона.

За последние годы под влиянием заказчиков основные усилия были вложены в разработку аппаратов, имеющих коммерческое значение или государственную поддержку. Разработанные нами граверы с плоским полем обработки и возможностью перемещаться по Z-координате (рис. 9) успешно конкурируют на российском

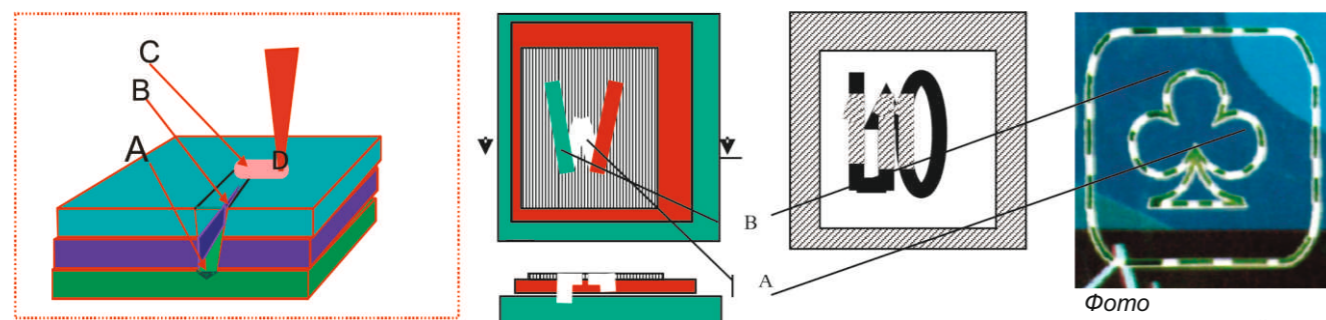


Рис. 11. Лазерный комплекс для маркирования изделий инструментального производства.

Технические характеристики:
 Размер зоны обработки 50×50 мм для работы с роторным полуавтоматом загрузки, 100×100 мм для работы с плоским столом, регулируемым по высоте. Размер знаков от 0,3 мм. Скорость обработки 2500 мм/с. Ширина линии с автоматическим заполнением 0.051 мм. Тип выводимых изображений контурные и растровые, текстовые и графические.

рынке с американскими и шведскими аналогами.

Новые методы защитной многоуровневой лазерной маркировки (рис. 10) разработаны специально для защиты от подделок продукции российских производителей (Патент 2146200 РФ, 2003) и применяются на Барнаульском ликероводочном заводе и Новосибирском инструментальном заводе.



A - разрезание первого и следующего слоя гравирование третьего слоя
 B - разрезание двух слоев
 C - разрезание первого слоя
 D - термохимическая запись первого слоя.

Рис. 10

Фото многоуровневой маркировки (бумажный носитель на стеклянной подложке).

Рис. 13. Установка для микроперфорирования металлических листов. Шаг дискретизации 25 мкм, минимальный размер отверстия 50 мкм, поле записи 500×600 мм. Производительность до 100 отверстий в секунду. 2004-2005 гг.



Методы управления положением лазерного пучка, ориентированные на запись изображений, пригодились при создании технологий и систем для лазерной микрообработки и вводе микроизображений. Разработанные нами в последние годы технологии и приборы свидетельствуют о перспективности направления по созданию лазерных графических систем, как в области микротехнологий (рис. 12, 13), так и в наномире (рис. 14, 15).

Разработаны специальные, опико-электронные методы управления лазерным лучом и программные средства для записи трехмерных защитных изображений. Повышение защитных свойств изображений достигнуто за счет послойной лучевой обработки материалов, применения специального полутонного микроперфорирования. Разработаны алгоритмы и реализовано программное обеспечение для управления составными двухкоординатными сканерами с оптимизацией методов управления сканерами при записи в векторном режиме.

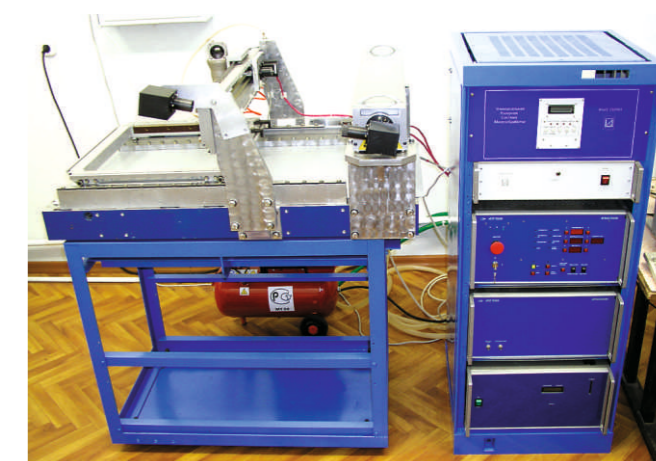


Рис. 12. Установка для защитного микроперфорирования (2005 г.)

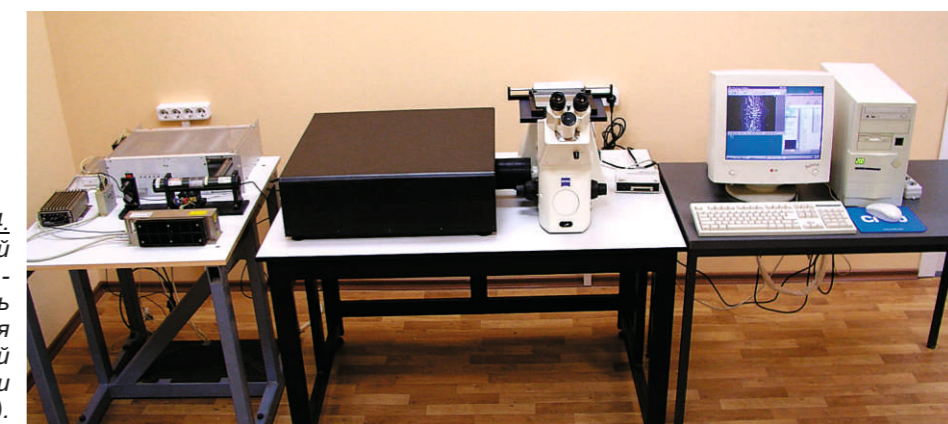


Рис. 14. Общий вид конфокальной сканирующей системы. 1 - модуль микроскопа, 2 - модуль сканирования, 3 - управляющая электроника и лазерный модуль, 4 - модуль обработки данных (2006 г.).

Рис. 15. Результаты сканирования топологии микросхемы на конфокальном микроскопе ИАиЭ

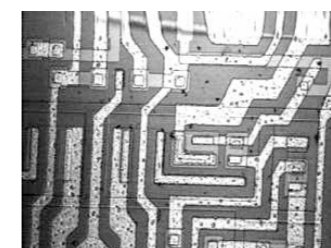


Рис 15.1. Поле сканирования 400×300 мкм, шаг дискретизации 1 мкм.

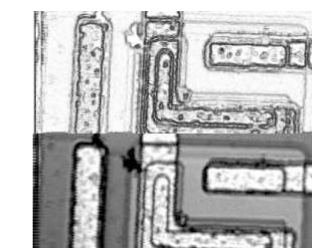


Рис 15.2. Поле сканирования 200×150 мкм, (фрагмент) шаг дискретизации 0.25 мкм.



Рис 15.3. Поле сканирования 40×30 мкм (фрагмент), шаг дискретизации 100 нм (по X координате).

Персоналии

Постановкой работ по устройствам ввода-вывода изображений институт, безусловно, «обязан» академику (тогда член-корреспонденту СО АН) Ю. Е. Нестерихину. Он лично отслеживал создание отечественного первого устройства ввода-вывода изображений «Ромб». И также лично контролировал мелкосерийный выпуск и внедрение этих устройств. Передача тематики из временного коллектива, организованного им из сотрудников лаборатории А.Н. Касперовича (С.Т. Васькова, А. И. Остапенко), в лабораторию В. С. Соболева с подключением оптиков лаборатории В. П. Коронкевича была, скорее, политическим шагом с далеко идущими последствиями, чем технической необходимостью.

Группа ввода-вывода изображений 1-6-1 была организована в 1985 г. в составе лаборатории В.С. Соболева и состояла из следующих сотрудников:

1. Бессмельцев В.П. - руководитель группы
2. Сахаров И. - н.с.
3. Вертопрахова Л.С. - ст. инж.
4. Бурнашов В.Н. - н.с.
5. Воробьев В.В. - ст. инж.

Прикомандированные:

Выдрин Л.В. - СКБ.НП, вед. конструктор
 Дегтярев И.С. - лаб 1-5 В.П. Коронкевича
 Атутов С.С.

Идея применения лазера в устройствах ввода изображений родилась практически сразу после мучений с некогерентным источником, собрать свет от которого было (и остается) тяжелой задачей. Решение применить мощный лазер для формирования изображений было принято после предложения В. П. Коронкевича использовать опыт Московского полиграфического института, ведущего разработку технологии лазерного гравирования печатных форм.

Особо надо отметить роль ведущего конструктора - Льва Владимировича Выдрина, без которого точная оптикомеханика устройств

ввода-вывода вряд ли была бы создана. Большую роль в создании и запуске малой серии устройств «Ромб» «СО₂ Ромб» сыграл и опыт, и «золотые руки» слесарей высшей квалификации М. А. Жуланова и В. И. Печуркина.

Преобразование группы в отдельную лабораторию произошло уже в эпоху перестройки в 1991 г. по предложению тогдашнего директора П. Е. Твердохлеба. **Обновившийся состав новой лаборатории 2-6 (Интеллектуальных устройств ввода-вывода изображений) приведен ниже:**

1. Бессмельцев В.П. - зав. лаб.
2. Баев С.Г. - н.с.
3. Вертопрахова Л.С. - ст. инж.
4. Бурнашов В.Н. - н.с.
5. Жилевский А.И. - ст. инж.
6. Максимов И.Г.
7. Гриценко - вед. инж.
8. Дегтярев И.С. - ст. инж.
9. Балашова Л.С. - ст. лаб.

На протяжении этих перестроечных десятилетий в составе лаборатории принимали активное участие в работах Э.А. Хонг, Ю.Я Шматов, Ю.А. Шишлов, А.В. Иоффе, А.С. Булгаков.

Последние разработки 1996 г. выполнены коллективом:

1. Бессмельцев В.П. - зав. лаб., к.т.н
2. Баев С.Г. - гл. спец.
3. Балашова Л.С. - ст. лаб.
4. Ралдугин - инж.
5. Жилевский А.И. - ст. инж.
6. Максимов Ю.Г. - слесарь в.к.
7. Максимов М.В. - инж. констр. 1 кат.
8. Слуев В.А. - н.с.
9. Вилейко В.В. - вед. инж.
10. Смирнов К.К. - ст.н.с.
11. Пальчикова И.Г. - вед. н.с., д.т.н.
12. Жилевский А.И. - вед. инж.



С. Г. Баев



Ю. Г. Максимов



В. В. Вилейко



Н. В. Голошевский



И. Г. Пальчикова



В. А. Слуев



К. К. Смирнов



А. Н. Ралдугин



Сидят: Ю.Г. Максимов, В.П. Бессмельцев, В.И. Балашова.
 Стоят (слева направо): К.К. Смирнов, А.В. Булгаков, М.В. Максимов,
 Л.В. Выдрин, А.И. Жилевский, В.А. Слуев, В.В. Вилейко,
 Н.В. Голошевский, С.Г. Баев, И.Г. Пальчикова.