



Рис. 4. Схема (а) и образец (б) дисковой системы памяти на одномерных голограммах.

мышленных министерств. Это касается, прежде всего, создания технологии изготовления сверхчистых кристаллов ниобата лития, пленок граната, иттриевого ортоферрита, мелкозернистых малошумящих фотоэмульсий, специальных волоконных элементов, специальных ЭОП с малой дисторсией, матрицы фотоумножителей, специализированной широкоугольной оптики, новых материалов для перезаписи голограмм (бактериородопсин, фотохромные пленки, фотополимеры), узкополосных фильтров на отражательных голограммах из ниобата лития с примесями железа, объемных голографических элементов памяти и др.

В еще одном новом, весьма перспективном голографическом устройстве памяти используется принцип параллельной записи большого числа сигналов на движущийся носитель. В варианте диска, показанного на рис. 4, запись осуществляется на широкую дорожку в виде одномерных голограмм. По сравнению с дисками (магнитными и оптическими), широко применяемыми в настоящее время, голографическая дисковая память имеет ряд преимуществ (более высокая скорость записи и считывания, возможность использования более информативных толстых носителей и др.), что делает их также весьма перспективными для применения в нейрокомпьютерах.

Все указанные выше оптоэлектронные устройства описаны более подробно в монографии автора *Оптические методы в информатике* (М.: Наука, 1990), где есть также ссылки на оригинальные статьи. Несмотря на то, что прошло уже более 30 лет с момента создания некоторых из описанных устройств лазерной техники,

они до сих пор отсутствуют за рубежом. Что же касается работ по созданию голографических систем памяти, то за рубежом они стали серьезно прорабатываться лишь с начала 90-х годов в связи с быстро возрастающими требованиями к информационным системам. Такие программы развернуты сейчас в США и в Европе.

6. Заключение

В дальнейшей деятельности мы не избежали трудностей, с которыми столкнулись научно-исследовательские институты, занимающиеся перспективными разработками для промышленности, которые стали невостребованными в нашей стране.

В середине 90-х годов в Российской академии наук был создан Институт оптико-нейронных технологий с целью развития работ по исследованию и применению новых методов обработки информации на принципах голографии и нейронных систем. Я стал директором этого института, были привлечены также некоторые ведущие сотрудники, с которыми я работал раньше, имеющие большой опыт научных исследований. Наша задача — сохранить научную школу подготовки молодых ученых по указанному весьма перспективному направлению и найти области применения новых, освоенных нами голографических методов обработки информации для решения практически нужных задач (не ограничиваясь лишь интересами развития радиоэлектронных систем). И первые результаты мы уже получаем в направлении развития голографических наноструктур и ассоциативных методов обработки сигналов с использованием принципов функционирования нейронных структур. Надеемся, что эти результаты будут востребованы в нашей стране.

Список литературы

1. Микаэлян А Л, Коровицын А В, Наумова Л В *Письма в ЖЭТФ* 2 (1) 37 (1965)
2. Микаэлян А Л, Турков Ю Г, Сахарова Н А *Письма в ЖЭТФ* 5 (5) 148 (1967)
3. Микаэлян А Л *ДАН СССР* 81 569 (1951)

PACS numbers: 01.65. + g, 42.55. – f, 42.62. – b

Развитие лазерной физики в Белоруссии

П.А. Апанасевич

Исследования в области квантовой электроники¹ начали развиваться в Белоруссии практически сразу после создания в 1960 г. первого лазера. Уже в 1961 г. были опубликованы статьи Б.И. Степанова с сотрудниками по теории лазерной генерации [1–3]. В 1963 г. был запущен В.А. Пилиповичем первый в Белоруссии лазер на рубине и начались экспериментальные исследования в этой области. В течение 2–3 лет проблемы лазерной физики и нелинейной оптики быстро заняли ведущее место в тематике Института физики АН БССР.

С самого начала эти исследования были развернуты широким фронтом. Основное внимание при этом уделя-

¹ Термин лазерная физика стал широко употребляться в 70-е годы. До этого лазерная физика не была выделена в самостоятельное научное направление и лазер, как правило, назывался оптическим квантовым генератором (или просто ОКГ).

лось вопросам формирования лазерной генерации в различных условиях, поиску новых генерирующих сред и путей повышения эффективности генерации, исследованию нелинейных оптических явлений таких, как вынужденное комбинационное рассеяние, генерация гармоник, сложение частот и др.

Следует отметить, что быстрому вхождению Института физики в лазерную тематику в немалой мере способствовало то, что еще в долазерный период Б.И. Степанов и его ученики развили методы и подходы, которые оказались полностью пригодными для расчета энергетических и временных характеристик многих типов лазеров. В частности, в работах Б.И. Степанова и В.П. Грибковского [4–6] по теории поглощения света и люминесценции были получены соотношения, описывающие эти процессы с учетом вынужденного испускания и их нелинейной зависимости от мощности падающего излучения. В 1958 г. А.П. Иванов [7] показал, что при высоких освещенностях коэффициент поглощения света сложными молекулами в некоторой области частот может становиться отрицательным, т.е. среда из поглощающей может превращаться в усиливающую.

В 60-е годы исследования и разработки по лазерной физике в Белоруссии были полностью сосредоточены в Институте физики. Позже они стали проводиться и в других институтах Академии наук и в университетах, в основном, в связи с переходом групп сотрудников Института физики. В 70-е годы на Белорусском оптико-механическом объединении (БелОМО) начался серийный выпуск лазерной техники по разработкам Государственного оптического института им. С.И. Вавилова. До этого лазеры изготовлялись только в СКТБ с ОП Института физики (ныне ОКБ "Аксикон"), в основном, для потребностей института. В 1979 г. при ЦКБ БелОМО "Пеленг" был организован Межведомственный конструкторский отдел (ныне научно-производственное предприятие ЛЭМТ), главным назначением которого было внедрение результатов научных исследований и разработок Института физики в изделия БелОМО. В 1984 г. вступило в строй действующих крупное Минское опытно-промышленное предприятие (МОПП) АН СССР (ныне Приборостроительный завод "Оптрон"), одной из важных задач которого было тиражирование лазерных систем и приборов, разработанных в институтах и КБ АН БССР и других организациях СССР. На этом предприятии сразу же был организован выпуск лазеров, компонентов и систем лазерной техники, разработанных в Институтах физики и электроники АН БССР, а также в Институте общей физики АН СССР. Следует отметить, что в организации производства лазерной техники в Белоруссии важную роль сыграли Н.А. Борисевич (в то время Президент АН БССР) и В.С. Бураков (как заместитель директора Института физики и затем как директор МОПП АН СССР).

В период до начала перестройки в СССР научные исследования и разработки в области лазерной физики в Белоруссии развивались весьма интенсивно, быстро рос их объем, расширялась тематика. Они, как правило, были интегрированы в крупные всесоюзные программы и проводились в тесной кооперации с научными и производственными организациями вне Белоруссии. В Белоруссии очень быстро был накоплен значительный научно-технический потенциал в области лазерной физики, подготовлены многочисленные научные кадры

(и не только для белорусских организаций), сложились широко известные научные школы. Белорусские ученые и инженеры внесли большой вклад как в решение многочисленных задач лазерной физики, создания и практического применения лазерной техники, так и в формирование ряда принципиальных положений, основ этой быстро развивающейся области знаний. Их достижения отмечены многими научными премиями и государственными наградами.

Свидетельством высокого уровня работ и активности белорусских ученых в области лазерной физики и нелинейной оптики служит, в частности, организация в Белоруссии или с участием белорусских организаций многих всесоюзных и международных конференций, проведение в Белоруссии выездных сессий Совета по когерентной и нелинейной оптике (Совета КиНО) АН СССР. Общеизвестно, что всесоюзные конференции по когерентной и нелинейной оптике сыграли важную роль в развитии и координации научных исследований по лазерной физике и нелинейной оптике в СССР. Началом же этих конференций явился симпозиум по нелинейной оптике, организованный Институтом физики АН БССР в 1965 г. на живописном берегу оз. Нарочь. На симпозиуме впервые был сделан обзор состояния лазерной физики и нелинейной оптики в СССР и, что очень важно, образован постоянно действующий комитет для организации последующих конференций и координации исследований в области лазерной физики в СССР. Возглавил комитет Р.В. Хохлов, в то время заведующий кафедрой МГУ. Очень скоро созданному на Нарочи комитету был придан статус Научного совета АН СССР по когерентной и нелинейной оптике. Регулярно проводимые им в СССР конференции по когерентной и нелинейной оптике (конференции КиНО) стали крупным, весьма престижным международным форумом в области лазерной физики. Они продолжают проводиться и после распада СССР. Три из них, 6-я, 13-я и последняя 17-я, состоявшаяся в 2001 г., были организованы в Минске. В разное время в Белоруссии были также организованы три всесоюзные конференции по лазерам на красителях, шесть конференций-школ по динамической голографии, международные конференции по спектроскопии сверхбыстрых процессов (UPS-1983) и по применению лазеров в науках о жизни (LALS-1994), 10 конференций (последние три в 2000, 2002 и 2004 гг. как международные) по квантовой оптике.

В советский период исследования в области лазерной физики, научно-технические разработки и выпуск лазерной техники в Белоруссии финансировались в основном из общесоюзных источников. Поэтому с распадом Советского Союза и разрушением единого научно-технического пространства СССР белорусские организации, занимавшиеся лазерными исследованиями и разработками, оказались в очень тяжелом положении. Производство лазеров, лазерных систем и элементов в начале 90-х годов резко сократилось или прекратилось полностью, существенно разрушились деловые связи между белорусскими и российскими организациями. Все же благодаря предпринятым руководством Республики Беларусь мерам, накопленный ранее потенциал в области лазерной физики в основном сохранился и постепенно был приспособлен к работе в новых условиях. В этом деле важную роль сыграли организация в Белоруссии государственных научных и научно-технических

программ, широкое использование грантов международных фондов (INTAS, МНТЦ и др.), расширение научных связей со странами дальнего зарубежья, возникновение малых предприятий по производству лазерной техники. Частичному восстановлению и активизации творческого сотрудничества между белорусскими и российскими организациями в области лазерной физики, несомненно, способствовало и способствует выполнение в 1998–2000 годах российско-белорусской программы "Лазерные технологии XXI века", профинансированной из бюджета Союза Россия–Беларусь, и совместных грантов Российского и Белорусского фондов фундаментальных исследований.

В настоящее время исследования и разработки в области лазерной физики и практических применений лазерной техники проводятся в Институте физики им. Б.И. Степанова (ИФ), Институте молекулярной и атомной физики (ИМАФ), Институте электроники (ИЭ), Институте физики твердого тела и полупроводников (ИФТТ), Институте прикладной оптики (ИПО) и Физико-техническом институте (ФТИ) Национальной академии наук Белоруссии; Белорусском, Гродненском и Гомельском государственных университетах (БГУ, ГрГУ и ГГУ), Институте повышения квалификации (ИПК) и Международном лазерном центре (МЛЦ) Белорусского национального технического университета; Научно-исследовательских институтах прикладных физических проблем (ИПФП) и ядерных проблем (ИЯП) при БГУ. Разработка и производство лазеров и лазерных приборов производятся на государственных предприятиях ЛЭМП БелОМО, КБТМ-ОМО, Приборостроительном заводе "Оптон"; ОКБ "Аксикон" НАН Белоруссии; ОАО "Пелен", в Научно-производственных фирмах ЛОТИС-ТИИ, СОЛАР-ТИИ, СОЛАР-ЛС, "Люзар", "Голографическая индустрия" и др.

Для полноты картины приведем краткий перечень наиболее важных и ярких результатов, полученных белорусскими учеными и инженерами в области лазерной физики.

В историческом плане первым из таких результатов, несомненно, является развитие методов инженерного расчета энергетических и временных характеристик пиковых и моноимпульсных лазеров. Итоги работы за 1965–1968 гг. обобщены в двухтомнике *Методы расчета оптических квантовых генераторов* [8], быстро ставшем настольной книгой инженеров-разработчиков лазеров.

Поиск новых генерирующих сред в середине 60-х годов увенчался открытием в Институте физики генерации растворов органических красителей [9]. Очень быстро была создана целая гамма лазеров с плавно перестраиваемой частотой, включая лазеры с расщепленной обратной связью (РОС), индуцируемой накачкой, голографический РОС-лазер, позволяющий при широкополосной накачке получать узкополосное когерентное излучение, и РОС-лазер бегущей волны, преобразующий наносекундные импульсы накачки в перестраиваемые по частоте импульсы пикосекундной длительности. Хотя в настоящее время плавная перестройка частоты лазерного излучения легко реализуется с помощью твердотельных лазеров, лазеры на красителях не потеряли своей актуальности.

Получена лазерная генерация на парах сложных молекул [10].

В том же институте предсказан и практически реализован ое–е-синхронизм [11] при генерации гармоник (сложения и вычитания световых пучков), созданы эффективные нелинейно-оптические преобразователи частоты лазерного излучения, основанные на генерации гармоник и вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР). Еще в 70-е годы было практически показано, что совместно с лазерами на красителях такие преобразователи позволяют получать достаточно мощное и высококогерентное излучение на любой длине волны в диапазоне 0,2–8 мкм. В последние годы предложена, обоснована и создана полностью твердотельная лазерная система, перестраиваемая в диапазоне 0,188–1,800 мкм, предложены и реализованы мини- и микрочип-лазеры с внутривибраторным ВКР-преобразованием частоты, изучены закономерности генерации, а также преобразования частоты и других параметров бесселевых световых пучков.

Развиты физические основы динамической голографии и предложены голографические методы управления пространственной структурой лазерного излучения и измерения физических параметров различных сред. Открыто явление обращения волнового фронта световых пучков при четырехволновом взаимодействии [12], широко используемое в настоящее время для устранения искажений фазы лазерного луча и концентрации его энергии в заданную точку. Создан высокочувствительный голографический измеритель теплопроводности (ИФ).

Установлены закономерности распространения световых потоков в анизотропных волноводах, на границах с усиливающими и оптически нелинейными средами, в бистабильных и других нелинейно-оптических системах. Созданы технологии получения элементов интегральной оптики и оптоэлектроники (ИЭ, ИПО, ИФТТ, ИФ).

Выявлены многие закономерности нелинейного взаимодействия лазерного излучения с резонансными средами (газами, растворами, полупроводниками, квантоворазмерными структурами и др.) и на этой основе развиты новые методы нелинейной спектроскопии, позволяющие получать информацию о структуре и процессах в микроокружении резонансных центров, измерять параметры лазерных и нелинейно-оптических сред (ИФ, ИМАФ, БГУ, ИПФП, МЛЦ).

Разработаны и созданы уникальные спектрометры (пико- и фемтосекундные, когерентного антистоксового рассеяния, внутривибраторные и др.), позволяющие проводить измерения с высокими чувствительностью, спектральным и временным разрешением. С их помощью изучены многие процессы энергообмена и взаимодействия в сложных молекулярных структурах, включая биологически важные, в плазменных образованиях, активированных кристаллах и т.п. (ИФ, ИМАФ, БГУ, ИПФП, МЛЦ).

Разработаны методы лазерного зондирования аэрозольного загрязнения атмосферы. В 80-е годы Институт физики как головная организация участвовал в создании и организации работы сети лидарных станций мониторинга стратосферного аэрозоля, состоящей из станций в Минске, Обнинске, на озере Иссык-Куль, в Польше и на Кубе. В настоящее время лидарная станция Института физики, укомплектованная лидарами различного типа, входит в систему мониторинга атмосферы европейского региона. Совместно с российскими организациями пла-

нируется создание лидарной сети СНГ, призванной к тому же объединить сети Европы и Юго-Восточной Азии, включая Японию.

Большое внимание белорусские ученые и специалисты всегда уделяли и уделяют вопросам различных применений лазерного излучения. Это, прежде всего, разработка и создание методов, приборов и установок по использованию лазеров в научных исследованиях, в промышленности и строительстве, в военном деле и других областях.

Сотрудниками Института физики и ряда медицинских учреждений республики выполнен большой комплекс исследований по выяснению особенностей терапевтического и биостимулирующего действия лазерного излучения различных длин волн и интенсивностей. На этой основе разработана и выпущена ОКБ "Аксикон" и фирмой "Люзар" целая серия терапевтических лазерных установок, используемых для лечения желтухи у новорожденных, кожных, внутриполостных и других заболеваний практически во всех клиниках и больницах республики.

Белорусскими физиками и медиками совместно с российскими и украинскими коллегами выполнены глубокие исследования механизмов и характеристик действия лазерного излучения на ткани глаз. Полученные результаты легли в основу разработки ряда аппаратов для лечения глазных заболеваний и использованы при создании норм безопасности при работе с лазерами, принятых в СССР незадолго до его распада. В настоящее время ГП ЛЭМТ с участием Института физики созданы и аттестованы для клинических применений промышленные образцы лазерных транссклерального и других офтальмокоагуляторов.

В ЛЭМТ также выполнены разработки и организован выпуск ряда других лазерных приборов и установок различного медицинского назначения, а также лазерные дальномеры, уровни, триангуляционные измерители перемещений, прицелы и т.п.

В КБТМ-ОМО концерна "Планар" и ОАО "Пеленг" успешно применяются лазеры в продукции, которая пользуется значительным спросом за рубежом. На "Планаре" лазеры широко применяются в разрабатываемых и выпускаемых комплексах по изготовлению интегральных схем, на "Пеленге" успешно решаются проблемы использования лазеров в военной технике (лазерные целеуказатели и прицелы, приборы наведения и т.п.).

В целом ряде организаций республики разрабатываются и используются лазерные технологии обработки различных материалов. В ФТИ, ИМАФ, ОКБ "Аксикон" совместно с ИФ созданы автоматизированные лазерные установки для программной резки различных материалов, прошивки отверстий и упрочнения деталей; в ИФ, ОКБ "Аксикон" и ГГУ разрабатываются технологии и аппаратура для сварки разнородных материалов и зубного протезирования; в ИПО — для металлизации ферритовых изделий; в ИПФП и концерне "Планар" — для обработки сверхтвердых материалов, включая алмазы. В ЛОТИС-ТИИ созданы образцы установок лазерной объемной гравировки и лазерной маркировки проводов в тефлоновой изоляции.

В Институте физики развиты технологии и создана установка для лазерной очистки поверхностей художественных произведений из металлов, камня, дерева,

пергамента. В рамках проекта МНТЦ установка поставлена в Грецию для очистки античных скульптур и других памятников античной культуры.

Разработаны и выпускаются по заявкам различных организаций Белоруссии, России, Японии, Германии и других стран целая гамма YAG : Nd-лазеров, генерирующих излучение на различных частотах, включая пятую гармонику; плавно перестраиваемые лазеры на сапфире с титаном и форстерите; эрбиевые и гольмиевые лазеры, различные нелинейно-оптические преобразователи частоты; двухимпульсные лазеры с регулируемым временем между импульсами, а также различные элементы лазерной техники. Важными особенностями большинства выпускаемых лазерных источников являются возможность их питания от однофазной сети переменного тока, наличие блока автономного охлаждения рабочего элемента, сравнительно малые габариты, простота управления с помощью выносного пульта и (или) компьютера, высокая стабильность параметра генерируемого излучения. При этом они способны обеспечить сравнительно высокие энергии в импульсах излучения (сотни и десятки миллиджоулей) в широких областях значений других параметров (ЛОТИС-ТИИ, СОЛАР-ТИИ, СОЛАР-ЛС, ЛЭМТ, ОКБ "Аксикон").

В заключение хочется пожелать, чтобы сотрудничество между белорусскими и российскими организациями в области лазерной физики в дальнейшем развивалось и крепло более интенсивно, чем в настоящее время. Уверен, что это было бы взаимно полезным.

Список литературы

1. Степанов Б И, Самсон А М *Изв. АН БССР* (4) 45 (1961)
2. Степанов Б И *Докл. АН БССР* 5 (12) 514 (1961)
3. Степанов Б И, Хапалюк А П *Изв. АН БССР* (4) 132 (1961)
4. Степанов Б И, Грибковский В П *Изв. АН СССР. Сер. физ.* 24 (5) 534 (1960)
5. Грибковский В П, Степанов Б И *Опт. и спектроск.* 8 (2) 224 (1960)
6. Грибковский В П "Нелинейные оптические явления и границы применимости модели гармонического осциллятора", Дисс. ... канд. физ.-мат. наук (Минск: Институт физики АН БССР, 1960)
7. Иванов А П *Опт. и спектроск.* 8 352 (1960) (поступила в редакцию 04.12.1958 г.)
8. *Методы расчета оптических квантовых генераторов* (Под ред Б И Степанова) (Минск: Наука и техника, Т. 1 — 1966, Т. 2 — 1968)
9. Степанов Б И, Рубинов А Н, Мостовников В А *Письма в ЖЭТФ* 5 144 (1967)
10. Борисевич Н А, Калоша И И, Толкачев В А *ЖПС* 19 1108 (1973)
11. Бокуть Б В и др. *Бюлл. изобрет.* (168) (1967)
12. Степанов Б И, Рубанов А С, Ивакин Е В *ДАН СССР* 196 567 (1971) (поступило в редакцию 14.07.1970 г.)

PACS numbers: 01.65. + g, 42.55. – f, 42.65. – k

Квантовая электроника и школа Р.В. Хохлова и С.А. Ахманова по когерентной и нелинейной оптике в Московском университете

В.А. Макаров

Формирование научной школы Р.В. Хохлова и С.А. Ахманова по когерентной и нелинейной оптике неразрывно связано с началом и развитием исследова-