

Дж. Струук

**Введение в когерентную оптику и
голографию**

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 53
ББК 22.3
Д40

Д40 **Дж. Струук**
Введение в когерентную оптику и голограмию / Дж. Струук – М.: Книга по Требованию, 2013. – 346 с.

ISBN 978-5-458-37387-6

Книга является первой в мировой литературе монографией по физическим основам голограмии и оптики когерентных систем. Значительная ее часть представляет собой систематизированное изложение оригинального материала, опубликованного за последние два Года в виде отдельных статей, которые написаны с участием самого автора — ведущего американского специалиста в этой области. Книга содержит введение в качественную теорию дифракции и анализ образования изображений при некогерентном и когерентном освещении. В ней рассматриваются свойства когерентного света и излагаются теоретические и экспериментальные основы оптической голограмии (восстановления волнового фронта). Монография дополнена двумя статьями Габора, предложившего в 1948 г. метод записи и восстановления волнового фронта, и обзором последних исследований в области практических приложений голограмии. Она представляет значительный интерес для широкого круга исследователей и инженеров и может служить ценным пособием для студентов-оптиков.

ISBN 978-5-458-37387-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Предисловие редактора русского издания

Предлагаемая читателю книга известного американского оптика Джорджа Строука представляет собой первую и пока единственную в мировой литературе монографию по голограммии. Она была написана на основе курса лекций, прочитанных автором в Мичиганском университете.

В своей книге Строук подробно и достаточно многогранно отразил успехи стремительного развития оптической голограммии. Исчерпывающий характер этой монографии вполне закономерен, поскольку ее автор является активным участником большинства исследований по интерференции и голограммии. Именно он осуществил классические опыты, которые составляют фундамент современной голограммии. Так, например, совместно с Денисом Габором, первооткрывателем голограммии, Строук выполнил эксперимент по оптической интерференции двух световых потоков, не перекрывающихся по времени.

Строук, занимаясь разработкой методов изготовления и контроля качества дифракционных решеток с предельно высокими параметрами, находился ближе, чем кто-либо другой из оптиков, к голограммии, когда после изобретения лазера началось ее бурное развитие. Оптические явления, составляющие основу голограммии и оптики дифракционных решеток, оказались тесно связанными между собой. Завершив в 1959—1961 гг. исследования по оптике дифракционных решеток, обладающих несовершенной структурой, Строук перешел к голограммии.

Голограммия возникла в 1948 г., когда английский физик Габор впервые ввел понятие голограммы, т. е. системы полной записи пространственной структуры световой волны (по амплитуде и по фазе) путем наблюдения интерференции между дифрагированной волной, идущей от предмета, и однородным когерентным фоном. Габор доказал, что такая система регистрации обладает свойством обратимости, позволяющим на второй ступени восстановить изображение предмета. Использование вспомогательного когерентного фона или когерентной подсветки является отличительной чертой любой схемы, применяемой в голограммии. Идея о голограмме пришла Габору не случайно: опираясь на интуитивные информационные положения, он был глубоко убежден в возможности извлечения информации о предмете из дифракционной картины, которая всегда содержит эту

информацию в зашифрованном виде. Габор получил первые голограммы и с их помощью восстановил изображение исходного предмета.

Однако наблюдения очень скоро показали, что первоначальная схема страдает недостатками, которые не позволили Габору полностью решить поставленную задачу. Действительное и мнимое изображения предмета, восстановленные на второй ступени с помощью голограммы Габора, накладывались по лучу зрения друг на друга и таким образом создавали взаимные помехи. Недостатком схемы Габора являлось также и то, что интенсивный когерентный фон по первоначальной схеме должен был проходить сквозь образец, а это сильно сужало класс предметов, к которым можно было применить данный метод.

Все эти недостатки пытались устранить многие оптики, однако прошло около 15 лет, прежде чем удалось возродить идею Габора. Решающим толчком к этому послужила деятельность двух радиотов, Иммета Лейта и Юриса Упатниекса, которые осуществили синтез теории связи и оптики. Лейт и Упатниекс, используя понятия и принципы однополосной модуляции в технике связи, ввели наклонный пучок, создающий когерентный фон, и этим самым полностью устранили недостатки первоначальной схемы Габора. Большую роль сыграл лазер, который к 1962 г. стал распространенным источником интенсивных когерентных пучков света. Спустя год Лейт и Упатниекс демонстрировали с помощью двухлучевой голограммы высококачественное изображение трехмерных предметов, реализовав тем самым одно из предсказаний Габора.

Голограмма наделена свойствами активно восстанавливать волну света, идущую от предмета, и тем самым позволяет сделать видимым сам предмет. Это свойство голограммы является следствием того, что при регистрации рассеянной от предмета волны света не теряется ни одна из ее характеристик. На голограмме волна регистрируется полностью: одновременно и в то же время раздельно регистрируются амплитудная и фазовая информация, т. е. осуществляется полный опыт в оптике. В классической фотографии, напротив, регистрируется только интенсивность рассеянной волны, а распределение сдвигов фаз электромагнитных колебаний в пространстве безвозвратно теряется.

Голография, позволившая реализовать полный опыт в оптике, предоставляет экспериментатору новые необычайные возможности, которые позволяют пересмотреть многие проблемы физической оптики. Наиболее интересная возможность состоит в том, что наблюдатель может корректировать оптические свойства прибора, используемого в эксперименте, после того как эксперимент полностью закончен, т. е. апостериорно. Так, напри-

мер, трехмерную схему можно рассматривать на произвольно выбранной глубине. Можно также смещать точку наблюдения, осуществлять оптическую фильтрацию пространственной структуры предмета и, в частности, устранять аберрацию оптического прибора. Однако наиболее удивительное свойство голограммии состоит в том, что она позволяет осуществить интерференцию между двумя потоками света, не перекрывающимися *ни во времени, ни в пространстве*.

Голограмму нельзя рассматривать только как альтернативу фотографии. Благодаря полной записи света с сохранением не только амплитуды, но и фазы, используя голограмму, в настоящее время можно осуществить широкий класс математических операций над комплексными функциями, заданными в виде пространственных распределений амплитуд и фаз волны света.

Голограмма создала новую оптику, которая по своим свойствам так относится к диголографической оптике, как теория комплексных функций относится к теории действительных функций. Это сравнение не просто красивая аналогия, оно наилучшим образом отражает новые «математические возможности» голографической оптики. Используя принцип голограммы, можно уже сегодня выполнять над комплексными функциями математические операции: сложение и вычитание, умножение, дифференцирование и некоторый класс интегральных операций.

Достоинство голографических методов обработки информации состоит в том, что в голограмме исходная информация обрабатывается сразу же целиком и практически одновременно по всей области. Столь необходимые в электронных системах операции, как сканирование или развертка изображения по строкам либо разнесение действительной и мнимой частей комплексной функции по отдельным каналам, полностью устраняются в когерентной оптической системе.

В Советском Союзе первым оптиком, который обратил внимание на голограмму Габора и начал самостоятельные опыты по разработке более совершенных систем голограммии, был Ю. Н. Денисюк. Своими экспериментами с липпмановскими эмульсиями в 1962 г. он утвердил совершенно новое, отличающееся от схемы Габора и Лейта прогрессивное направление в голограммии, которое позднее получило широкое распространение. Голограмма, которую изобрел Денисюк, представляет собой трехмерную интерферограмму. Вследствие того, что волновой фронт в голограмме Денисюка интерферирует с когерентным фоном по всей толщине эмульсии, эта схема с самого начала не дает взаимного наложения действительного и мнимого изображений. Толстослойная голограмма Денисюка восстанавливает только одно изображение предмета, а информация, которую

можно ввести в толстослойную голограмму, оказывается намного богаче информации, содержащейся в обычной голограмме Габора.

Таким образом, основными вехами в развитии голографии можно считать исследования Габора, который впервые предложил и осуществил голографическую систему; исследования Лейта и Упатниекса, которые возродили голографию на основе идей, заимствованных из техники связи, и основали один из новых разделов радиооптики — современную лазерную голографию; исследования Денисюка, предложившего и впервые изготовленного трехмерную голограмму, и, наконец, исследования Строука, который осуществил цикл узловых, исчерпывающих экспериментов по голографии и предложил современные принципы и наиболее эффективные схемы голографии.

Не следует, конечно, забывать о том, что авторы упомянутых здесь четырех открытий опирались в своих работах на достижения предшественников и современников, которые вели исследования в оптике, радиосвязи, теории и технике информации, а также в спектроскопии.

Кроме семи основных глав, книга содержит дополнение автора к русскому переводу книги, а также приложения, в которые вошли исторические работы Габора, выполненные в 1948—1951 гг., и написанный И. П. Налимовым обзор последних работ по голографии и ее применению.

В вводной главе (гл. 1) даются основные особенности радиооптики, ее истоки и используемые в ней методы. Приведено строгое рассмотрение краевой электромагнитной задачи на примере дифракционной решетки и отмечены ограничения операционного метода при его использовании в радиооптике.

В гл. 2 излагается качественная теория дифракции, формулируется краевая задача дифракции света и рассматривается соотношение Фурье между амплитудами света в зрачке и в плоскости изображения.

Гл. 3 посвящена процессу образования изображения при некогерентном освещении. Вводится понятие передаточной функции и устанавливается связь ее с получаемым изображением с использованием, в частности, плоскости пространственных частот. В заключение разбираются два крайних примера: точечный источник и синусоидальный по интенсивности предмет.

В гл. 4 анализируются понятия когерентности света, как временной, так и пространственной, а также методы их измерения. В конце ее описан интерферометр интенсивности.

В гл. 5 рассматривается процесс образования изображения при когерентном освещении как естественный предшественник голографии. В голографическом аспекте описаны метод филь-

трации пространственной структуры волны света, процедура изготовления согласованного фильтра, а также основы корреляционного анализа. В конце главы дается описание опыта Габора — Строука по интерференции потоков света, не перекрывающихся во времени.

Гл. 6 содержит теоретические и экспериментальные основы оптической голограммии, которую Габор назвал методом образования изображения путем восстановления волнового фронта. Здесь рассматриваются: проектная голограмма Френеля, безлинзовая голограмма Фурье с высоким пространственным разрешением и метод устранения эффекта протяженности источника с целью сохранения высокого пространственного разрешения по предмету. Затем излагается требование к когерентности света в голограмме. В конце главы описан классический эксперимент Строука с голограммой, полученной при некогерентном освещении, и даны экспериментальные обоснования возможности применения голограммических принципов для рентгеновских лучей.

Гл. 7 содержит предельно беглый перечень математических вопросов, знание которых необходимо для чтения книги.

В заключение хотелось бы сделать некоторые замечания по содержанию монографии Строука.

Во-первых, материал излагается в книге весьма лаконично, и поэтому ее можно рекомендовать лишь в качестве дополнительного пособия по курсу физической оптики.

Во-вторых, книга Строука по голограммии и дополнения к ней не охватывают всех аспектов современной голограммии. В частности, полностью опущен теоретико-информационный аспект, имеющий для голограммии большое значение. Кроме того, не рассмотрен очень важный для практических целей вопрос влияния шумов на процесс голограммической записи и восстановления, а также вопрос о динамическом диапазоне фотодетекторов.

Перевод книги выполнен В. Н. Колесниковым (статьи Габора), И. П. Налимовым (гл. 1, 2, 4, 6, авторские предисловия и дополнение автора к русскому изданию) и Л. М. Сороко (гл. 3, 5 и 7). При переводе отдельных выражений и терминов, встречающихся в книге Строука, повсюду, где это было возможно, мы придерживались терминологии русского перевода книги А. Марешала и М. Франсона «Структура оптического изображения» (изд-во «Мир», 1964 г.). При переводе исправлены некоторые опечатки в тексте и многочисленные неточности в формулах. Списки оригинальных работ, расширенные при редактировании книги, приведены в конце каждой главы, а также после обзора И. П. Налимова.

Л. М. Сороко

Предисловие к русскому изданию

Автор приветствует быстрое появление русского перевода его книги. Он также чрезвычайно рад тому, что в виде дополнения к русскому переводу дана одна из его последних работ, посвященная голограмме, освещаемой белым светом¹⁾. Это исследование, которое является продолжением первой в этой области работы Ю. Н. Денисюка, опубликованной в 1962 г.²⁾, позволяет в настоящее время получать многоцветное изображение путем освещения объемной черно-белой голограммы лучами белого света.

В последнее время появилось очень много хороших обзоров, посвященных принципам и успехам голографии, и в частности советских авторов. Среди них удачны обзоры Налимова³⁾ и Сороко⁴⁾, которые я горячо рекомендую.

Наконец, автор хотел бы еще раз напомнить, что 9 ноября 1964 г. в Бостоне (США) он предложил закрепить вклад проф. Денниса Габора, являющегося пионером исследований в этой области, и термином *голография* называть методы восстановления волнового фронта, а также теорию и применение *голограмм*⁵⁾, как средства образования и обработки оптических сигналов.

Джордж Строук

Июль 1966 г.

¹⁾ Строук Дж., Лабейри А., Восстановление голографических изображений в белом свете с использованием дифракционного эффекта Липпмана — Брэгга, *Phys. Lett.*, **20**, 368—370 (1966); см. 213.

²⁾ Денисюк Ю. Н., Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения, *ДАН СССР*, **144** (6), 1275—1278 (1962).

³⁾ Налимов И. П., Лазерная голография — основные принципы и применения, *Зарубежная радиоэлектроника*, (2), (1966).

⁴⁾ Сороко Л. М., Лекции по голографии. (Препринт Объединенного института ядерных исследований в Дубне № 2587; см. также *УФН*, **90** (1), 1—46 (1966)).

⁵⁾ Габор D., *Nature*, **161**, 777, 778 (1948).

Предисловие

Эта книга основана на серии лекций и лекционных курсов, прочитанных автором в 1963—1965 гг. преимущественно в Мичиганском университете. В книгу включено много материала из оригинальных статей по когерентной обработке изображений и голограммии. В этих статьях изложена часть результатов последних исследований автора, выполненных в лаборатории Мичиганского университета.

В какой-то степени сам факт включения в монографию оригинальных научных статей уже имеет прецедент — небольшую, но замечательную книгу А. Майкельсона «Исследования в оптике», изданную в 1927 г. В предисловии к этой книге Майкельсон писал: «Для того чтобы придать изложению большую целостность, желательно привлечь и материал, который можно найти в распространенных работах по оптике, ибо только в этом случае может появиться интерес представить все эти исследования с моей собственной точки зрения и передать мои собственные впечатления, подчеркивая при этом те идеи основателей науки, которые произвели на меня глубочайшее впечатление». К сожалению, автор книги вынужден признать, что он не может изложить собственные взгляды и подход каким-либо другим более совершенным путем.

Принимая во внимание большой интерес к новым успехам в оптике и желая поскорее ознакомить с ними широкие круги специалистов за пределами лекционной аудитории, а также по возможности стимулировать дальнейший прогресс в этой области, автор представил значительную часть первоначальных записей лекций в том виде, как они были опубликованы в двух изданиях Мичиганского университета (май 1964 г., март 1965 г.) под названием «Введение в оптику когерентного и некогерентного электромагнитного излучения». Автор приносит извинения за телеграфный стиль изложения и недоработки, которые встречаются в книге, а также за многие возможные пробелы в списках литературы, приведенных в соответствующих главах книги.

Оригинальные статьи проф. Д. Габора о «восстановлении волнового фронта» сейчас приобрели исключительную важность,

так как составляют фундамент оптических принципов получения изображений методом восстановления волнового фронта и, в частности, обратимой регистрации фазы и амплитуды световой волны изображения. Поэтому в приложении к книге эти две оригинальные статьи Габора помещены без каких-либо изменений. Автор весьма признателен проф. Д. Габору за разрешение перепечатать эти статьи, а также за постоянную поддержку и многочисленные полезные беседы и замечания, которые касались голографических аспектов данной книги. Автор также выражает благодарность за постоянную поддержку большой группе коллег, особенно проф. М. Франсону, Дж. Харрисону, П. Жакино, А. Марешалю, О. Молеру и Э. О'Нейлу.

Джордж Строук

Анн-Арбор, Мичиган,
ноябрь, 1965