Апрель 1991 г. Том 161, N 4

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

621.3(049.3)

РЕНТГЕНОВСКИЕ ЛАЗЕРЫ

Elton R. C. X-ray Lasers. — Boston; San Diego; New York; Berkely; London; Sydney; Tokyo; Toronto: Academic Press, 1990. — 287 p.

Рецензируемая книга является, по-видимому, первой монографией, посвященной изложению принципов действия рентгеновских лазеров, и отражает значительный прогресс, отмеченный в этой области в последние пять лет, после первой успешной работы [1], где была получена генерация рентгеновского излучения с длиной волны ~ 200Å. В настоящее время список активных сред рентгеновских лазеров существенно расширился, а генерируемая длина волны достигла 50Å. Таким образом, появление такой книги вполне закономерно и своевременно. Автор книги, Раймонд Элтон, сотрудник Naval Research Laboratory (США) внес значительный вклад в разработку ряда схем рентгеновских лазеров и является соавтором одного из первых детальных обзоров по проблеме коротковолновых лазеров [2].

Книга содержит как изложение основ физики рентгеновских лазеров, так и обсуждение существенных деталей, полезных для исследователей, работающих в указанной области. Книга является полезным пособием как для тех, кто только начинает знакомиться с проблемой рентгеновских лазеров, так и для тех, кто ведет здесь активные исследования. Основное внимание в книге уделено рентгеновским лазерам, активной средой которых является плазма. Однако одна из глав книги содержит также и обсуждение альтернативных вариантов.

Глава 1 является вводной главой книги; в ней кратко обсуждается история развития исследований, вводятся основные понятия и определения, рассматривается проблема рентгеновских зеркал.

В гл. 2 обсуждаются вопросы кинетики генерации излучения в беззеркальных системах. Вводятся пороговые условия генерации и обсуждаются основные факторы, влияющие на величину населенности верхнего лазерного уровня. Проведен анализ влияния столкновительных переходов и эффекта пленения излучения на динамику генерации. Рассмотрен ряд схем, позволяющих осуществить эффективное опустошение нижнего лазерного уровня. Исследовано влияние рефракционных потерь на пороговые условия и динамику генерации. Приведены результаты численного решения скоростных уравнений, иллюстрирующие зависимость пороговых условий от основных параметров активных сред. Большой интерес, с точки зрения ознакомления с методикой проведения экспериментов, представляют разделы книги, посвященные обсуждению требований, предъявляемых к лазерам накачки и фокусирующей

оптике, методике измерения коэффициента усиления, обзору экспериментальных методов измерения характеристик рентгеновского излучения лазерной плазмы. Обсуждаются особенности регистрации рентгеновских изображений (камера обскура, зонная пластинка, оптика скользящего падения), спектральных измерений (решетки нормального и скользящего падения, решетки с переменным шагом, дифракция в кристаллах), детектирования (пленки, фотодиоды, фоторезисты, ионизационные камеры, полупроводниковые детекторы, приборы с зарядовой связью) и рентгеновской спектроскопии с временным разрешением (сцинтилляторы, микроканальные пластины, стрик-камеры).

Глава 3 книги посвящена обсуждению принципов действия двух основных типов рентгеновских лазеров — лазеров со столкновительным возбуждением и фотовозбуждением. Эти два типа рентгеновских лазеров наиболее близки к традиционным лазерным схемам. В обоих этих случаях исходным является основное состояние иона, когда его электроны невозбуждены, а лазерная генерация имеет место между двумя возбужденными уровнями. Верхний лазерный уровень возбуждается из основного столкновительным образом в одном случае и фотовозбуждением — в другом. Аналогия столкновительных рентгеновских лазеров с традиционными лазерными схемами проиллюстрирована на примере лазеров ВУФ диапазона — молекулярных азотного и водородного лазеров. Далее подробно обсуждаются экспериментальные данные по генерации рентгеновского излучения с длиной волны 50 – 200Åна ионах с различной структурой уровней.

В схемах рентгеновских лазеров с фотовозбуждением накачка верхнего лазерного уровня осуществляется характеристическим излучением плазмы ионов другого элемента. Причем частота характеристической линии накачки подбирается резонансной частоте перехода из основного состояния на верхний лазерный уровень в "рабочем" ионе. В книге приведены обширные таблицы таких совпадающих переходов различных ионов. Следует отметить, что значительная часть таких таблиц составлена на основе работ автора монографии.

В гл. 4 обсуждаются схемы рентгеновских лазеров, основанные на захвате электронов на верхний лазерный уровень либо из континуума, либо из другого иона или атома. В первом случае речь идет о лазерах с рекомбинационной накачкой, когда электрон в результате столкновительной рекомбинации и последовательности каскадных переходов оказывается на верхнем лазерном уровне. Во втором случае появление электронов на верхнем лазерном уровне обусловлено электронным обменом при столкновении "рабочего" иона с нейтральным атомом или другим ионом.

Глава 5 посвящена анализу схем, основанных на ионизации электронов внутренних оболочек атомов и ионов. Отдельно рассматриваются ионно-столкновительные, фотоионизационные и оже-схемы создания инверсии.

Среди альтернативных методов генерации когерентного рентгеновского излучения в гл. 6 рассмотрены генерация гармоник, лазеры на свободных электронах, гамма-лазеры. Автор показывает, что нелинейно-оптические методы генерации рентгеновского излучения позволяют, в принципе, получить частично перестраиваемое излучение в мягкой рентгеновской области, однако интенсивность излучения низка. Возможный путь увеличения интенсивности лежит в использовании плазменных усилителей. Обсуждены перспективы раз-

вития лазеров на свободных электронах. Дан краткий обзор исследований по проблеме гамма-лазера. Кратко обсуждаются возможности генерации рентгеновского излучения при каналировании электронов в кристаллах, стимулированном тормозном и комптоновском рассеянии, оптической накачке релятивистских ионов.

Заключительная глава книги посвящена сопоставлению различных схем рентгеновских лазеров и сравнению их характеристик. Обсуждаются перспективы развития исследований и оцениваются параметры излучения, которые могут быть достигнуты в ближайшие годы. Проведено сравнение характеристик действующих рентгеновских лазеров с характеристиками других источников рентгеновского излучения, таких, как рентгеновские трубки, синхротронные источники, рентгеновское излучение высокоплотной плазмы. Среди возможных приложений рентгеновских лазеров обсуждаются перспективы их применений в спектроскопии атомов и ионов, химическом анализе, ядерной спектроскопии, зондировании высокоплотной плазмы. Возможные технические приложения связываются с развитием методов фотолитографии, поверхностно-чувствительных методов рентгеновской спектроскопии. Автор полагает, что рентгеновские лазеры могут привести к существенному прогрессу в области рентгеновской микроскопии и голографии, что даст дополнительную ценную информацию о структуре клеток и макромолекул, поможет в решении фазовой проблемы рентгеновского структурного анализа.

В заключение следует отметить, что книга безусловно найдет широкую аудиторию читателей, благодаря своевременности ее появления. Книга написана доступным и ясным языком и будет полезна не только специалистам в области рентгеновских лазеров, но и людям, начинающим знакомиться с предметом, и может также послужить базовой книгой для ряда спецкурсов.

А. В. Андреев

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Matthews D.L. et al*//Phys. Rev. Lett. 1985. V. 54. P. 110.
2. *Waynant R.W., Elton R.C.*//Proc. IEEE. 1976. V. 64. P. 1059.