

Импульсные и эксимерные источники ультрафиолетового излучения

Что представляют собой газоразрядные импульсные источники УФ-излучения?

Газоразрядные импульсные источники формируют свет в результате электрического разряда в инертных газах — аргоне, криптоне или ксеноне. Их особенность в том, что плотность газа почти не меняется при нагреве, поэтому нет необходимости в разогреве колбы: лампа начинает работать сразу после подачи импульса.

При низком давлении и небольшой плотности тока спектр разряда имеет линейчатую структуру — излучение состоит из узких линий отдельных атомов. По мере роста давления и плотности тока линии уширяются и накладываются друг на друга, формируя непрерывный спектр. Это происходит из-за столкновительного уширения и рекомбинационных процессов. Характер перехода от линейчатого к сплошному спектру зависит от конкретного газа и режима разряда.

Как работают импульсные ксеноновые лампы и почему они дают мощное УФ-излучение?

Импульсные ксеноновые лампы питаются короткими, но мощными электрическими импульсами. Энергия одного импульса может составлять от десятых долей до десятков килоджоулей, а его длительность — от единиц до тысяч микросекунд.

Во время импульса внутри лампы образуется плазма высокой степени ионизации. Её спектр близок к излучению абсолютно чёрного тела, то есть распределение энергии зависит главным образом от температуры плазмы. При увеличении пиковых мощностей растёт и доля коротковолнового излучения, включая ультрафиолет.

В результате при оптимальных режимах до четверти всей энергии может приходиться на диапазон 200–300 нм — наиболее эффективный для обеззараживания.

Какие параметры обеспечивают максимальный КПД таких источников?

Наибольший энергетический КПД достигается у ксеноновых ламп при давлении газа порядка **300–600 Торр**, длительности импульса **сотни микросекунд** и напряжённости поля **40–150 В/см**.

Эффективность излучения резко зависит от удельной мощности, приходящейся на объём разряда: существует оптимум в районе **0,5 МВт/см³**. Выход за пределы этого диапазона ведёт к росту потерь на ионизацию и нагрев газа, из-за чего уменьшается доля энергии, преобразуемой в УФ-излучение.

Почему спектр ксеноновых импульсных ламп «широкий» и как это влияет на применение?

В отличие от ртутных источников с выраженными линиями 254 и 185 нм, спектр ксеноновых ламп почти непрерывен. Это даёт большую суммарную мощность излучения, но снижает его селективность. Коротковолновая часть спектра может вызывать образование озона и инициировать побочные фотохимические реакции, не требующиеся в задачах обеззараживания. Поэтому широкополосный спектр — одновременно преимущество (универсальность) и недостаток (нежелательные химические эффекты).

В чём практические достоинства и ограничения импульсных ксеноновых ламп?

Преимущества очевидны:

- работа без ртути,
- мгновенное зажигание без прогрева,
- стабильность характеристик при любой температуре стенки,
- возможность работы без балластов благодаря возрастающей вольт-амперной характеристике.

Но есть и слабые стороны. Для зажигания требуется напряжение **свыше 1 кВ**, что увеличивает сложность и стоимость пусковой аппаратуры. Кроме того, **потери в источнике питания** могут достигать **до 50 %** от средней мощности лампы.

Ресурс таких источников выражается числом вспышек: обычно **10⁷–10⁸ импульсов**. При частоте в десятки герц срок службы составляет менее тысячи часов. Со временем мощность УФ-излучения снижается на 20–50 %, особенно на коротких длинах волн.

Какие конструктивные особенности характерны для ксеноновых импульсных ламп?

Типичная лампа представляет собой **кварцевую трубку** с впаянными электродами, охлаждаемую воздухом или водой. Иногда трубка свёрнута в спираль — это увеличивает путь излучения в компактном объёме. Выводы могут быть жёсткими или гибкими.

Конструкция и охлаждение напрямую влияют на стабильность параметров, равномерность разряда и срок службы, поэтому подбор геометрии — важная часть проектирования.

Чем эксимерные лампы отличаются от ксеноновых импульсных источников?

Эксимерные лампы основаны на излучении **нестабильных молекул-комплексов** (эксимеров), которые существуют только в возбуждённом состоянии. После распада они испускают фотон определённой длины волны.

В отличие от ксеноновых ламп с непрерывным спектром, эксимерные источники излучают **узкополосно**. Каждая газовая смесь (например, KrCl^* , XeBr^* , XeF^* , ArF^*) формирует свой максимум излучения — от **120 до 260 нм**.

Наиболее известны полосы **157, 172, 193, 222, 248, 253 и 258 нм**, а также линии **283, 308 и 351 нм**.

Каковы характеристики и эффективность эксимерных ламп?

Излучение эксимерных молекул имеет **время жизни порядка 10^{-9} – 10^{-7} с**, распад сопровождается выделением энергии в узком спектральном диапазоне.

Коэффициент преобразования энергии разряда в излучение может достигать **до 25 %** при мощности **10–20 Вт**. Эти источники зажигаются мгновенно, не требуют прогрева и безопасны в эксплуатации, так как не содержат ртути и используют инертные газы или их смеси с галогенами.

Почему эксимерные лампы важны для фотохимических и санитарных применений?

Благодаря узкому спектру излучения эксимерные лампы позволяют **селективно воздействовать на вещество**, точно управляя фотохимическими реакциями. Это снижает побочные эффекты и делает их востребованными в **фотохимии, аналитической химии, фотобиологии, фотолитографии и микроэлектронике**.

В санитарных системах они применяются там, где нужна высокая эффективность дезинфекции при ограниченном воздействии на

материалы и минимальном образовании озона — например, лампы на 222 нм (KrCl*).

Когда выбирать эксимерный источник, а когда — импульсный ксеноновый?

Выбор определяется задачей.

- Если нужно **широкое спектральное воздействие и высокая пиковая мощность**, предпочтительны **импульсные ксеноновые лампы**.
- Если требуется **узкий диапазон длин волн**, высокая стабильность и отсутствие побочных химических реакций, рациональнее использовать **эксимерные источники**.

Таким образом, ксеноновые и эксимерные лампы не конкурируют, а **дополняют друг друга**: первые дают универсальное интенсивное излучение, вторые — спектральную селективность и экологичность.