

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕНЕРАЦИИ В ВУФ ОБЛАСТИ СПЕКТРА НА САМООГРАНИЧЕННЫХ ПЕРЕХОДАХ ИОНОВ

С.В. Маркова, Г.Г. Петраш

Проанализированы возможности получения импульсной генерации в ВУФ области спектра на самоограниченных переходах в однократно ионизованных атомах инертных газов.

Создание эффективных лазеров, генерирующих в коротковолновой области спектра вплоть до вакуумного ультрафиолета (ВУФ), представляет одну из важных задач квантовой электроники. Предложено несколько способов получения инверсии на переходах в ВУФ области спектра, однако задача еще далека от полного решения.

Проанализируем возможности получения импульсной нестационарной генерации на самоограниченных переходах, прежде всего на переходах с первого резонансного на метастабильные уровни ($g \rightarrow m$ -переходы). Лазеры на таких переходах, например, лазеры на парах меди, золота, свинца, бария и др., обладают сравнительно высокой эффективностью, большой средней и пиковой мощностью генерации, высокой частотой повторения порядка 10^4 Гц. На этих переходах достигается очень высокое усиление и легко наблюдается сверхсветимость, что весьма важно для продвижения в коротковолновую область спектра.

Получена генерация на многих $g \rightarrow m$ -переходах атомов, однако они соответствуют видимой, ближней ИК и лишь отчасти УФ области спектра. Для продвижения в более коротковолновую область спектра имеет смысл рассмотреть $g \rightarrow m$ -переходы в ионах. В настоящей работе рассматриваются однократно ионизованные атомы инертных газов; $g \rightarrow m$ -переходы возможны и в других однократно ионизованных атомах.

Инертные газы представляют особый интерес, так как они наиболее удобны как в эксперименте, так и при разработке практических конструкций лазеров. Кроме того, для всех ионов инертных газов, кроме гелия, характерно наличие нескольких $g \rightarrow m$ -переходов, соответствующих линиям в ВУФ области спектра.

На рис. 1 в качестве примера приведена схема нижних уровней и соответствующих переходов иона Хе II. Ионы Ne II, Ar II и Kr II обладают сходной структурой уровней. Основная конфигурация этих ионов ns^2np^5 имеет два уровня: основной $^2P^0_{3/2}$ и метастабильный $^2P^0_{1/2}$. Имеется несколько резонансных уровней, связанных с основным состоянием разрешенными переходами. Соответственно имеется несколько $g \rightarrow m$ -переходов. Нам не удалось найти в

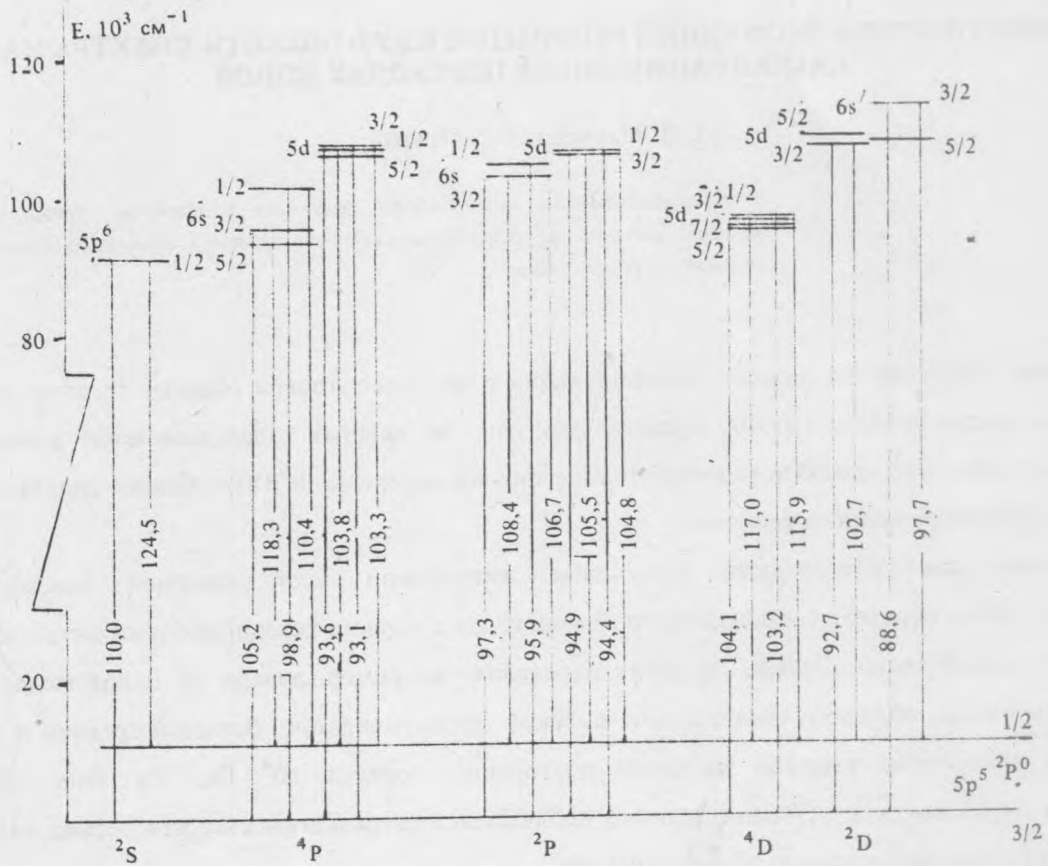


Рис.1. Схема нижних уровней и соответствующих переходов иона Хе II.

литературе данных о сечениях возбуждения уровней, вероятностях переходов и временах жизни для рассматриваемых ионов. В связи с этим трудно предсказать, на каком из $g \rightarrow m$ -переходов следует прежде всего ожидать получения инверсии. Это зависит прежде всего от соотношения сечений возбуждения электронами резонансного и метастабильного уровней. Если ориентироваться на самые общие соображения и на данные об интенсивностях соответствующих линий, приведенные в /1, 2/, то можно предположить, что легче будет получить генерацию на самой длинноволновой из $g \rightarrow m$ -линий.

Некоторые данные о длинноволновых $g \rightarrow m$ -переходах в ионах инертных газов приведены в табл. 1. Здесь $\eta_{\max} = (E_r - E_m)q_m / E_r (q_r + q_m)$ — предельный КПД перехода, рассчитанный в предположении, что возбуждение происходит из основного состояния иона; E_r, E_m и q_r, q_m — энергии и статвеса резонансного и метастабильного уровней; λ_r, λ_{gm} — длины волн резонансного и $g \rightarrow m$ -переходов. В последнем столбце таблицы приведена тепловая заселенность метастабильного

Т а б л и ц а 1

Длиноволновые $g \rightarrow m$ -переходы в ионах инертных газов

Ион	$E_g, \text{см}^{-1}$	$E_m, \text{см}^{-1}$	$\lambda_g, \text{нм}$	$\lambda_{gm}, \text{нм}$	η_{max}	N_m/N_0
Ne II	217050	782	46,072	46,239	49,8	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Ar II	108722	1432	91,978	93,205	49,3	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Kr II	109002	5371	91,743	96,496	47,5	$3,2 \cdot 10^{-12}$
Xe II	90874	10537	110,043	124,476	44,2	$5,6 \cdot 10^{-23}$

уровня, отнесенная к заселенности основного состояния при комнатной температуре 300 К. Как видно, для всех ионов, кроме Ne II, тепловая заселенность метастабильного уровня при комнатной температуре мала и не должна заметно ограничивать достижение инверсии. Нужно, однако, заметить, что все инертные газы допускают охлаждение до весьма низких температур, что позволяет и для неона свести тепловую заселенность метастабильного уровня до пренебрежимой величины. Возможность охлаждения в случае получения генерации на ионах инертных газов будет способствовать достижению высокой средней мощности генерации, которая ограничивается в пределе перегревом рабочего газа.

Схема уровней ионов инертных газов напоминает схему уровней атома таллия, на $g \rightarrow m$ -переходе которого ${}^2S_{1/2} - {}^2P_{3/2}^0$ получена генерация /3/. Разница в том, что у атома таллия основное состояние ${}^2P_{1/2}^0$, а у рассматриваемых ионов ${}^2P_{3/2}^0$; у атома таллия два первых резонансных уровня, а у ионов инертных газов их несколько. Это может привести к конкуренции переходов и к нежелательному подзаселению метастабильного уровня спонтанным излучением с других резонансных уровней. Однако не исключено, что реально будут заселяться лишь немногие из резонансных уровней.

Другое отличие состоит в том, что рассматриваемые переходы в ионах соответствуют значительно более коротким длинам волн. Соответственно вероятности рабочих переходов будут значительно больше. Так, вероятность перехода в Xe II, упомянутого в таблице, будет по оценкам $\sim 10^9 \text{ с}^{-1}$. Это означает, что потребуются импульсы возбуждения с передним фронтом порядка 1 нс. Эта трудность представляется преодолимой. Примерно такие же условия возбуждения требуются для известных лазеров на переходах в полосах Вернера и Лаймана молекулярного водорода /4/. Времена жизни верхних лазерных уровней в этом случае тоже порядка 1 нс, а инверсия распределена по многим переходам. Тем не менее, генерация на этих переходах получена при возбуждении поперечным разрядом и пучком быстрых электронов.

Для ионов инертных газов ситуация более благоприятна, так как инверсия распределяется по

меньшему числу переходов. Кроме того, для них меньше ширина линий, так как ионы более тяжелые и имеются четные изотопы, не обладающие сверхтонкой структурой.

Таким образом, все зависит от соотношения скоростей заселения резонансного и метастабильного уровней электронами. Для $g \rightarrow m$ -переходов это соотношение обычно благоприятно для получения нестационарной инверсии в начале импульса возбуждения. Важно также, насколько удастся обеспечить условия, в которых возбуждение иона будет происходить преимущественно из его основного состояния. Наличие генерации на переходах других ионов (Ca II, Sr II, Ba II, Hg II) дает основание рассчитывать на получение генерации и на рассматриваемых переходах ионов инертных газов в ВУФ области спектра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стриганов А.Р., Свентицкий Н.С. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизированных атомов. М., Атомиздат, 1966 г.
2. Стриганов А.Р., Одинцова Г.А. Таблицы спектральных линий атомов и ионов. М., Энергоиздат, 1982 г.
3. Исаев А.А., Ищенко П.И., Петраш Г.Г. Письма ЖЭТФ, **6**, 619 (1967).
4. Справочник по лазерам под ред. А.М. Прохорова. М., Советское радио, 1978, с. 197.

Поступила в редакцию 22 марта 1991 г.