

02; 07

© 1991

ОДНОВРЕМЕННАЯ ЭФФЕКТИВНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В БЛИЖНЕЙ ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА НА $d-p$ ПЕРЕХОДАХ Ar И Xe

Б.М. Берклиев, В.А. Долгих,
И.Г. Рудой, А.М. Сорока

Лазеры ближнего ИК диапазона на $d-p$ переходах тяжелых инертных атомов Ar , Kr , Xe с ионизирующим возбуждением (электронный пучок, осколки деления) привлекают к себе в последние годы значительное внимание. Это обусловлено: 1) возможностью использования хорошо разработанных импульсно-периодических источников слаботокового электронного пучка с плотностью тока $10^{-3} - 1$ А/см² и длительностью импульса 1-1000 мкс; 2) достаточно высоким КПД генерации до 4-5% [1, 2]; 3) „удобным“ для приложений диапазоном генерируемых длин волн 1.5-2.5 мкм, попадающим в область прозрачности атмосферы, и развитой для $\lambda \sim 2$ мкм световодной техникой; 4) отсутствием деградации и химической активности лазерных смесей, состоящих только из инертных газов. В связи с этим расширение возможностей и увеличение эффективности таких лазеров представляет значительный интерес.

Эффективность заселения верхнего лазерного уровня при генерации на $3d-4p$ переходах аргона ($\lambda \approx 1.79$ мкм) при ионизирующем возбуждении смеси He/Ar ($He/Ar \sim 100/1$) близка к 100% [2] и в дальнейшем возбуждение попадает в нижние $4s$ состояния аргона (метастабильные и резонансные, время жизни последних велико вследствие перепоглощения). Как показано в [2], процесс эксимеризации $Ar^* + Ar + He \rightarrow Ar_2^* + He$ протекает медленно, и время жизни Ar^* (4s) определяется главным образом ассоциативной ионизацией $Ar^* + Ar^* \rightarrow Ar^+ + Ar + e^-$ (именно этот процесс обеспечивает достижение КПД генерации на аргоне до двух „квантовых“ [2]) и составляет в условиях настоящей работы (см. ниже) ≈ 0.8 мкс. Это обстоятельство позволяет уже при концентрации ксенона в смеси ~ 1 Тор „перевести“ вложенную энергию на ксенон (константа скорости передачи ≈ 140 нс/Тор [3, 4]). Как обнаружено в настоящей работе, в процессе передачи возбуждения с $4s$ состояний аргона селективно заселяется состояние ксенона $5d [3/2]_1$, что позволило получить одновременную эффективную генерацию на Ar и Xe в ближнем ИК диапазоне.

Условия возбуждения газовых смесей: плотность тока пучка 1.2 А/см², длительность импульса по полувысоте 1.3 мкс, энергия быстрых электронов ≈ 180 кэВ (потери энергии пучка в одной

атмосфере гелия составляют ≈ 450 В/см. Активная длина лазера и его активный объем 33 см и 200 см^3 соответственно. Энергия излучения регистрировалась калориметром ВЧД с чувствительностью 30 мкВ/мДж. Спектральный состав излучения определялся с помощью дифракционной решетки 300 штрихов/мм, разрешение использованной системы составляло ≈ 0.01 мкм. Прозрачность резонатора в области 1,7–2,1 мкм составляла $\approx 10\%$, в области длин волн короче 1,5 мкм и длиннее 2,3 мкм прозрачность резонатора резко возрастала. Характерный состав исследуемых в работе смесей $He/Ar/Xe \sim 3000/40/1$, в связи с этим использовался гелий высокой чистоты 99,999%.

При возбуждении смеси 3 атм $He/30 \text{ Тор } Ar/0.7 \text{ Тор } Xe$ была получена суммарная энергия генерации на 30% больше, чем в смеси 3 атм/ $He/30 \text{ Тор } Ar$. Около 35% энергии излучения приходится на переход 1,79 мкм аргона и $\approx 65\%$ энергии – на переход 2,03 мкм ксенона. Другие линии генерации в трехкомпонентной смеси не были зарегистрированы.

В присутствии ксенона энергия генерации на аргоне падает приблизительно вдвое, поскольку передача энергии ксенону подавляет вклад ассоциативной ионизации в накачку верхнего лазерного уровня [2]. Сопоставление энергий излучения на 1,79 мкм и 2,03 мкм с учетом высокой селективности накачки верхнего лазерного уровня при генерации в смеси He/Ar позволяет сделать вывод, что селективность заселения состояния ксенона $5d[3/2]_1$ ($\lambda \approx 2.03$ мкм соответствует переходу $5d[3/2]_1 - 6p[3/2]_1$) при соударении с $Ar^*(4s)$ близка к 100%. Возможный вклад этого канала накачки лазера на ксеноне в смеси Ar/Xe обсуждался уже в [3] и учитывался в теоретических моделях лазера на смеси Ar/Xe [4, 5] (причем в [4] предполагается, что КПД передачи возбуждения высок, а в [5] принято, что селективность этого процесса составляет лишь 0,1–0,5).

Предполагая селективность диссоциативной рекомбинации $HeAr^+$, $HeXe^+$ и передачи возбуждения $Ar^* \rightarrow Xe^{**}$ равную 100%, получим (с учетом вклада ассоциативной ионизации $2Xe^* \rightarrow Xe^+ + Xe + e^-$) предельную эффективность одновременной генерации на $d-p$ -переходах Ar и Xe в смеси $He/Ar/Xe$ до 8,5–9%. В настоящей работе получен КПД генерации около 6%, однако это значение, вероятно, может быть увеличено при оптимизации состава активной среды и прозрачности резонатора. Включение в состав активной среды неона позволяет в смеси $He/Ne/Ar/Xe$ [6] дополнительно получить генерацию в видимом диапазоне на переходе неона ≈ 585 нм с КПД $\sim 1\%$.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Alford W.J., Hayes G.N. // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. N 10. P. 3760–3766.

- [2] Беркелиев Б.М., Долгих В.А. Рудой И.Г., Сорока А.М. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. № 12. С. 1537-1538.
- [3] Басов Н.Г., Данилычев В.А., Дудин А.Ю. и др. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. № 9. С. 1722-1736.
- [4] Клоповский К.С., Лукьянова А.В., Рахимов А.Т., Суетин Н.В. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 2. С. 205-211.
- [5] Держиев В.И., Жидков А.Г., Середина О.В., Яковленко С.И. // Тр. ИОФАН. 1989. Т. 21. С. 139-141.
- [6] Александров А.Ю., Долгих В.А., Рудой И.Г. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 15. С. 1395-1398.

Поступило в Редакцию
7 марта 1991 г.
В окончательной редакции
22 октября 1991 г.