

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ СТРАТ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ He—Cd ЛАЗЕРА

В. А. Васьков, С. А. Гончуков, Е. В. Курбатов и Е. Д. Проценко

Известно, что лазеры на парах металлов катафорезного типа, наиболее распространенным из которых является He—Cd лазер, имеют значительные шумы выходного излучения. Изучению этого вопроса посвящено большое количество работ. Однако к настоящему времени достаточной ясности в механизме возникновения шумов нет. Последние публикации в этом направлении [1-7] показывают, что характеристики излучения (в том числе и шумы) He—Cd и подобных ему лазеров нельзя рассматривать без учета влияния страт, возникающих в положительном столбе разряда. Так, например, синхронизация страт при модуляции тока разряда [3, 5] приводит к резкому уменьшению шумов и одновременному увеличению мощности излучения.

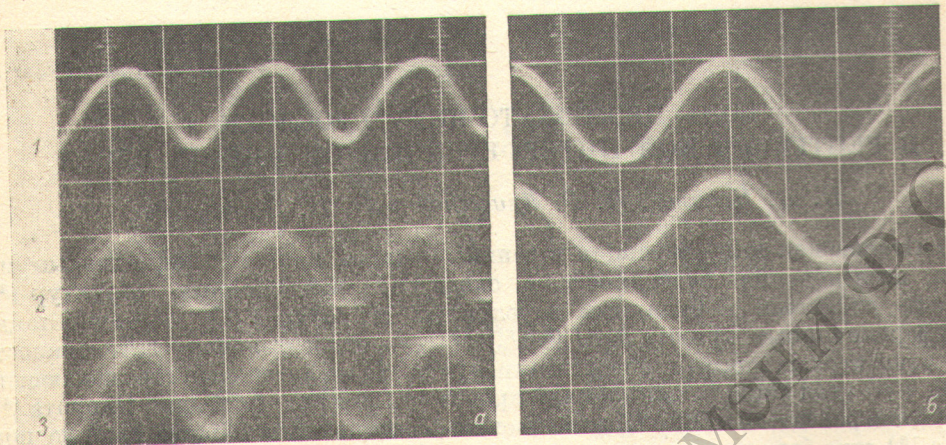
Наиболее вероятным механизмом, объясняющим влияние страт на характеристики He—Cd лазера, является дополнительное двухступенчатое возбуждение рабочих уровней быстрыми электронами, возникающими при прохождении страт. Как показано в работе [4], такое дополнительное возбуждение имеет место, однако характер его воздействия на населенности уровней до конца не был выяснен. Это прежде всего связано с тем, что в работе [4] рассматривался полный спектральный диапазон шумов без разделения его на области, соответствующие собственно стратам и их биениям [6, 7]. Так как параметры колебаний плазмы разряда в областях существования страт и их биений существенно различны, то они по-разному могут влиять на характеристики излучения и это необходимо учитывать.

В связи с этим в настоящей работе изучение колебаний плазмы и их влияния на населенности уровней и выходное излучение проводилось в пределах узкого частотного интервала, перестраиваемого во всем диапазоне существования колебаний. Это позволило, с одной стороны, разграничить колебания на области существования страт и их комбинаций, и с другой — выяснить роль этих областей в воздействии на характеристики катафорезного лазера. Для выделения дополнительного возбуждения быстрыми электронами исследования проводились на различных длинах волн. Сигналы с одного места капилляра световодами подавались на два монохроматора, регистрировались фотоприемниками и после усиления в пределах узкой полосы сравнивались на двухлучевом осциллографе. Как показано в работе [4], наличие дополнительного возбуждения быстрыми электронами приводит к увеличению или уменьшению населенности уровней в зависимости от их энергии. Как следствие в нашем случае сигналы, полученные с разных линий, должны находиться в фазе или противофазе в зависимости от относительного характера возбуждения выделяемой монохроматорами пары линий.

Исследования, проведенные на 13 линиях He I, Cd I и Cd II, показали, что спектр шума на различных линиях аналогичен и его можно разделить на три области. В области частот $100 \div 400$ кГц и $0 \div 100$ кГц существуют колебания, связанные со стратами и их разностными комбинациями (биениями) соответственно. Отметим, что эти области совпадают с областями различного поведения динамического сопротивления разряда, исследованного в работе [8]. В области выше 400 кГц нами были также обнаружены слабые колебания, связанные с суммарными комбинациями страт. Уменьшение шума спонтанного излучения с ростом частоты можно объяснить спадом интенсивности колебаний плазмы, а также приближением периода колебаний к времени жизни верхнего уровня рассматриваемого перехода. Колебания в областях существования страт и их суммарных комбинаций на всех исследованных длинах волн совпадают по фазе. В то время как в области существования биений страт эти колебания находятся как в фазе, так и противофазе, что зависит от рассматриваемой пары линий. По этому признаку можно разделить все исследуемые линии на две группы, в каждой из которых колебания совпадают по фазе, но противофазны колебаниям

на линиях другой группы. Линии первой группы (0.4678, 0.4800, 0.5086 и 0.6438 мкм CdI) характерны тем, что энергии их верхних уровней не превышают 7.34 эВ, а для линий второй группы (0.4471, 0.4713, 0.4922, 0.5016, 0.5876, 0.6678 мкм HeI и 0.4416, 0.5337, 0.5378 мкм CdII) энергии верхних уровней выше 17.58 эВ. Для первой группы рост числа быстрых электронов уменьшает населенности верхних уровней, для второй — увеличивает. На рисунке приведены типичные осциллограммы колебаний на трех линиях для областей существования страт и их биений.

Таким образом, можно сделать вывод, что дополнительное двухступенчатое возбуждение уровней быстрыми электронами проявляется только при наличии в положительном столбе разряда биений страт. По-видимому, этот факт связан



Осциллограммы колебаний на длинах волн: 1 — $\lambda=0.5876$ (HeI), 2 — 0.4416 (CdII), 3 — 0.6438 мкм (CdI), в областях существования страт ($f=180$ кГц) — (а) и их биений ($f=25$ кГц) — (б).

с тем, что является существенным совпадением направлений скоростей движения электронов и фазовых скоростей колебаний плазмы.

На основании проведенных исследований можно предположить, что дополнительное возбуждение быстрыми электронами и является основной причиной возникновения высокого уровня шумов в излучении катафорезного He—Cd лазера. Это предположение было проверено на длине волны 0.4416 мкм двумя способами. За счет подбора параметров активной среды лазера был реализован режим, когда существовали только страты, а их биения отсутствовали, при этом шум излучения не превышал 1%. Увеличение тока разряда приводило к появлению биений страт и одновременному резкому возрастанию шумов генерации. Во втором случае с помощью модуляции тока разряда от двух внешних генераторов была осуществлена синхронизация страт на двух частотах. При этом в плазме существовали страты двух частот и их комбинации, а выходное излучение имело одну шумовую компоненту на частоте биений.

Полученный результат о вкладе двухступенчатого возбуждения уровней быстрыми электронами позволяет также объяснить увеличение мощности излучения He—Cd лазера на длине волны 0.4416 мкм, наблюдаемое при синхронизации страт [5]. Действительно, синхронизация страт на одной частоте приводит к сужению области биений страт и ее переносу на нулевые частоты, при этом длина волны биений страт стремится к бесконечности. В этом случае двухступенчатое возбуждение уровней быстрыми электронами приводит к независимому от времени увеличению населенности верхнего уровня и как следствие — к росту мощности излучения. Отметим, что аналогичное увеличение населенности уровней наблюдалось при исследовании интенсивностей разных линий, относящихся к той же группе, что и линия 0.4416 мкм CdII. Для линий другой группы наблюдалось уменьшение населенностей верхних уровней в режиме синхронизации страт.

- [1] D. Fromm, A. Schmidt. Z. Naturforsch., 30a, 372, 1975.
 [2] T. E. Johnston, W. P. Kolb. IEEE J. QE-12, 482, 1976.
 [3] М. К. Дятлов, В. Г. Касьян, В. Г. Левин. Ж. прикл. спектр., 30, 1001, 1979.
 [4] R. A. Willgos, G. C. Thomas. J. Phys. D. Appl. Phys., 7, 2269, 1974.
 [5] T. Hsieh, W. Knauer, U. Penning. Z. Naturforsch., 32a, 1503, 1978.
 [6] T. Suzuki, S. Teiri. Appl. Phys. Lett., 31, 328, 1977.
 [7] T. Suzuki, O. Yobuturi. Jap. J. Appl. Phys., 47, 1040, 1978.
 [8] В. Е. Привалов, Е. А. Смирнов. Опт. и спектр., 48, 949, 1980.

Поступило в Редакцию 20 марта 1981 г.

УДК 535.41 : 537.531

РОЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОСЛОЕК В РЕНТГЕНОВСКОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ОТ ТОНКИХ СЛОЕВ

В. А. Начинов, Л. Г. Елисеенко и В. Н. Достовалов

Рентгеновская интерференция в тонких пленках является эффективным методом исследования поверхностных слоев [1], многослойных структур [2], а также диффузии в бинарных двуслойных структурах [3]. Интерпретация интерференционных кривых $\lg(I(\theta)/I_0)$ (I/I_0 — относительная интенсивность зеркально отраженного от поверхности пучка, I_0 — интенсивность падающего пучка, θ — угол скольжения) обычно производится в рамках теории Паррата [4]. Однако при расчете $\lg(I(\theta)/I_0)$ для объектов, состоящих из тонкого слоя на подложке [5] или бинарных слоев на подложке [2], не принимается во внимание возможное появление границы раздела — прослойки между слоями, состоящими из одного и того же материала. Появление такой прослойки, образованной, по-видимому, остаточными газами вакуумной камеры или окислами, вполне возможно в процессе приготовления, например, бинарных слоев методом молекулярно-лучевой эпитаксии или термического распыления [6, 3], так как последовательное нанесение таких слоев обычно разделено некоторым промежуточным временем.

Наличие границы раздела внутри слоя должно влиять на вид зависимости $\lg(I(\theta)/I_0)$ от θ . С целью выяснения степени этого влияния нами исследовано зеркальное отражение FeK_{α_1} ($\lambda=1.93597 \text{ \AA}$) излучения от тонких пленок алюминия, нанесенных термическим испарением в вакууме $\sim 10^{-6}$ мм. рт. ст. на оптически полированные поверхности плавленого кварца. На подложки № 1 и № 2 наносились слои Al толщиной $d_1=220 \text{ \AA}$, в то время как подложка № 3 была закрыта шторкой. Затем без нарушения вакуума образец № 1 был закрыт, а подложка № 3 открыта и на нее, а также образец № 2, нанесен слой Al толщиной $d_2=250 \text{ \AA}$. Таким образом, на подложку № 2 без нарушения вакуума последовательно в два этапа с промежуточным временем между ними в несколько минут был нанесен от одного и того же источника слой Al с суммарной толщиной $d_3=470 \text{ \AA}$. Был приготовлен образец № 4, представлявший собой слой Al толщиной $d_4=410 \text{ \AA}$, напыленный на кварцевую подложку в один этап. Толщины пленок определялись из наклона зависимости порядкового номера N интерференционного максимума от $(\theta_N^2 - 2\delta)^{1/2}$ [8], где δ — декремент показателя преломления, рассчитанный по формулам работы [9]; значения таким образом определенных толщин в области $\theta^2 > 2\delta$ оказались весьма слабо зависящими от δ . Измерения зависимости $\lg(I/I_0)$ от θ производились на дифрактометре ДРОН-2 с дополнительным щелевым устройством [7]; угловое разрешение, измеренное по полуширине отраженного от кристалла пучка, составляло 2.5'.

Экспериментальные кривые $\lg(I(\theta)/I_0)$ представлены на рисунке сплошными линиями для слоя толщиной $d=250 \text{ \AA}$ (1), $d=220 \text{ \AA}$ (2), $d=470 \text{ \AA}$ (3) и