

ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В СО-ЛАЗЕРЕ С Хе

М. З. Новгородов, А. Г. Свиридов,
Н. Н. Соболев, П. Шварц

Введение. Большие сечения (до $8 \cdot 10^{-16}$ см²) возбуждения колебательных состояний молекулы СО электронным ударом, которые имеют резонансный пик при $\epsilon \approx 2$ эв, заставляют нас предположить, что этот процесс является основным в обеспечении большого запаса колебательной энергии основного электронного состояния. Конкретный расчет распределения молекул по колебательным уровням /1,2/ и инверсии возможен лишь при наличии надежных сведений о концентрации электронов и их энергий. В частности, ввиду отсутствия этих данных автор /1/ был вынужден проводить расчеты инверсии в СО-лазере в диапазоне концентрации электронов 10^8 – 10^{11} см⁻³, предполагая, что в разряде имеет место максвелловское распределение электронов, и варьировать их температуру в пределах от 5000°К до 30000°К. Экспериментальному определению абсолютной плотности электронов в СО-разрядах посвящена наша работа /3/.

Настоящая работа содержит первые результаты по исследованию функции распределения электронов по энергиям в СО-разрядах с Хе. Попытки измерить функцию распределения электронов по энергиям в типичных разрядах прокачанного СО-лазера на смесях СО-Не-О₂ оказались безуспешными. Причиной этого являются сильные шумы и колебания плазмы газового разряда, при наличии которых оказывается невозможным получить вторую производную тока зонда по напряжению. Можно предположить, что авторы краткого сообщения-обещания /4/, в котором не приводятся никакие конкретные результаты, также столкнулись с подобными трудностями. Об этом свидетельствует тот факт, что в последующей своей публикации /5/ они обратились уже к исследованию свойств самих колебаний.

Эксперимент. Недавно появилась работа /6/, в которой сообщалось о создании отпаянного СО-лазера, работающего при темпера-

турах выше 77°K и даже при комнатной. Это было достигнуто добавлением в лазерную смесь Хе в количествах, сравнимых с Со. Наши эксперименты с добавлением Хе к Со-разряду без протока показали, что он благоприятно действует и в отношении устранения шумов и колебаний разряда. Все измерения были проведены в кварцевой разрядной трубке с внутренним диаметром 20 мм с холодными молибденовыми электродами в системе без протока и без специального охлаждения. Золотой зонд диаметром 0,05 мм, с помощью которого проводились измерения колебаний и функции распределения, располагался на расстоянии 14 см от анода. В наших исследованиях в смеси всегда присутствовал кислород в количестве 10% от количества Со. Все спектры колебаний сняты с помощью анализатора спектра С4-12 при плавающем потенциале зонда.

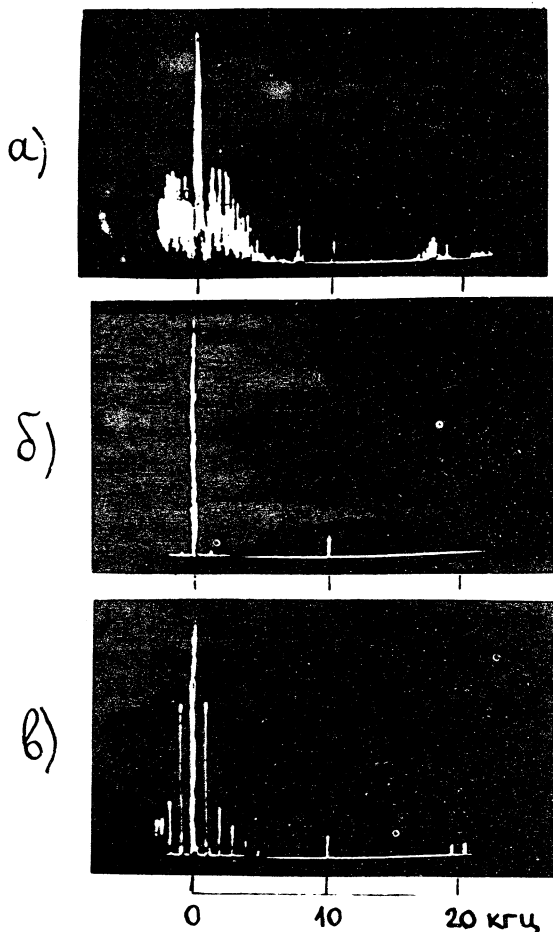
На рис. 1а показан спектр колебаний в разряде на смеси Со-Не (1:8) в диапазоне 0 - 20 кГц. Максимум колебаний приходится на частоты 0 - 4 кГц. Добавление Хе приводит либо к полному устранению всех колебаний (рис. 1б), и тогда оказывается возможным измерить вторую производную зондового тока, либо к появлению в спектре отдельных линий (рис. 1в) при давлениях смеси ниже 2 тор. Однако при уменьшении тока разряда (ниже 10 ма) и увеличении времени горения (свыше 20 - 30 мин) в разряде вновь появляются колебания.

В моменты спокойного горения разряда примерно через 10 - 15 мин после включения нами были измерены функции распределения электронов по энергиям в зависимости от тока разряда (10+30 ма), доли Не в смеси и давления (1+4 тор).*) Оказалось, что во всех исследованных нами случаях распределение не является максвелловским. Максвелловское распределение на рис. 2а изображалось бы прямой линией во всей области энергий.

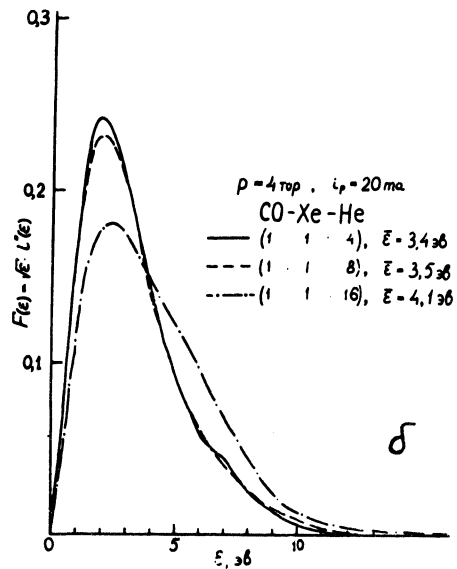
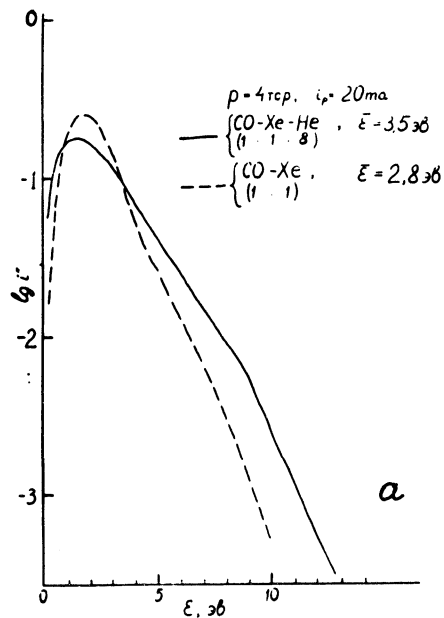
На рис. 2а и 2б показаны функции распределения электронов по энергиям в Со-разряде с Хе в зависимости от доли Не в смеси.**) Из приводимых данных видно, что при увеличении доли Не при

*) Схема измерений подобна описанной ранее /7/.

**) В приводимых результатах при обработке не учтен эффект стока электронов к зонду. Его учет приведет к тому, что в целом средние энергии электронов уменьшатся на 15 - 20% /8/. Относительная разница между кривыми останется прежней.



Р и с. 1. Спектр колебаний в разряде в диапазоне 0 - 20 кГц.
 а) СО-Не(1:8), $i_p = 20$ ма, $p = 4$ тор; б) СО-Не-Хе(1:8:1),
 $i_p = 20$ ма, $p = 4$ тор; в) СО-Не-Хе(1:8:1), $i_p = 10$ ма,
 $p = 2$ тор.



Р и с. 2. Функции распределения электронов по энергиям в разряде при $\rho = 4 \text{ тор. } i_p = 20 \text{ ма}$, а) CO-Xe-He (1:1:8), $\bar{E} = 3,5 \text{ эВ}$; CO-Xe (1:1), $\bar{E} = 2,8 \text{ эВ}$. б) CO-Xe-He (1:1:4), $\bar{E} = 3,4 \text{ эВ}$; CO-Xe-He (1:1:8), $\bar{E} = 3,5 \text{ эВ}$; CO-Xe-He (1:1:16), $\bar{E} = 4,1 \text{ эВ}$.

постоянном полном давлении в лазерной смеси увеличивается средняя энергия электронов. Так, например, переходу от смеси CO-Xe (1:1) к смеси CO-Xe-He (1:1:16) соответствует увеличение средней энергии электронов от 2,8 до 4,1 эв. Аналогичное поведение наблюдалось нами и ранее /9/ в смесях с CO₂. Оказывается, что в смеси с очень большим содержанием He (штрихпунктирная кривая на рис. 2б) распределение электронов весьма близко к дровестейновскому в диапазоне энергий от 3 до 10 эв. Эти результаты легко понять, если учесть, что увеличение доли He в смеси будет обозначать уменьшение доли неупругих соударений электрона с молекулами. Следствием этого является увеличение средней энергии электронов и приближение к дровестейновскому. Изменение тока разряда от 30 до 10 ма приводит к слабому изменению распределения электронов, так что средняя энергия электронов уменьшается от 3,3 эв до 3,0 эв. Поскольку сечения возбуждения колебательных уровней молекулы CO имеют резонансный пик, расположенный около 2 эв, то изменение скоростей накачки, обусловленное изменением функции распределения, будет определяться поведением ее в этой области. Уменьшению разрядного тока от 30 до 10 ма соответствует увеличение скорости накачки лишь на 25%.

Измерения распределения электронов в смеси CO-Xe-He (1:1:8) в зависимости от давления в пределах от 1 до 4 тор не дали существенных различий в пределах погрешностей эксперимента.

Дискуссия. Полученные нами данные позволяют сделать некоторые выводы. Как было показано нами в /10/, добавление Xe в разряд CO₂-лазера приводит к таким изменениям плазмы разряда, как увеличение концентрации электронов, уменьшение напряженности продольного электрического поля и средней энергии электронов. Эти изменения, которые в конечном итоге привели к повышению мощности и КПД генерации CO₂-лазера, были обусловлены более низким потенциалом ионизации Xe (12,1 эв) по сравнению с другими компонентами плазмы. Можно предположить, что подобные изменения, вызванные добавлением Xe, присущи и разряду CO-лазера при комнатной температуре. Разумеется, что для подтверждения этого предположения необходимы дополнительные измерения в смесях без Xe таких параметров, как абсолютная концентрация электронов, ионный ток на зонд и распределение электронов по энергиям.

Средние энергии электронов в смесях с Хе оказались равными около 3 - 4 эв. Эти цифры в 1,5 - 2 раза превышают значение, которое было предложено нами при оценке скоростей накачки в работе /3/. Такое расхождение следует, по-видимому, считать несущественным для этих целей, поскольку, как было показано в /II/, скорости накачки колебательных уровней молекулы CO очень слабо зависят от средней энергии электронов в диапазоне 1 + 4 эв.

Для практических целей укажем значение скорости возбуждения колебательных уровней молекулы CO электронным ударом $\langle \sigma v \rangle = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{сек}$. Эта цифра получена для смеси CO-Xe-He (I:I:16) при $p = 4$ тор и $i_p = 20$ ма. Для такой же средней энергии ($\bar{E} = 4,1$ эв) и для максвелловского распределения эта величина равна $1,1 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{сек}$.

Поступила в редакцию
2 февраля 1972 г.

Л и т е р а т у р а

1. J. W. Rich. J. Appl. Phys., 42, 2719 (1971).
2. Н. Н. Соболев, В. В. Сокольников. Препринт ФИАН № 108, 1971 г.
3. М. З. Новгородов, А. Г. Свиридов, Н. Н. Соболев. Препринт ФИАН № 115, 1971 г.
4. P. Bletzinger, A. Garscadden. Bull. Am. Phys. Soc., 16, 215 (1971).
5. P. Bletzinger, A. Garscadden. Труды 10 Межд. Конф. по Иониз. явл. в газах, стр. 294, 1971 г.
6. C. Freed. Appl. Phys. Letts., 18, 458 (1971).
7. М. З. Новгородов, А. Г. Свиридов, Н. Н. Соболев. Препринт ФИАН № 32, 1969 г.
8. А. И. Луковников, М. З. Новгородов. Краткие сообщения по физике, № I, 27 (1971).
9. М. З. Новгородов, А. Г. Свиридов, Н. Н. Соболев. Письма в ЖЭТФ, 8, 341 (1968).
10. М. З. Новгородов, В. Н. Откин, А. Г. Свиридов, Н. Н. Соболев. Краткие сообщения по физике, № II, 36 (1970).
11. W. L. Nighan. Phys. Rev., A2, 1989 (1970).