

Ответ на заметку «Еще раз об эффективности азотного лазера»

В.Ф.Тарасенко

Дан ответ на критику В.В.Аполлоновым и В.А.Ямщиковым («Квантовая электроника», 2002, т. 32, № 2, с. 183) статьи автора, напечатанной в журнале «Квантовая электроника», 2001, т. 31, № 6, с. 489–494.

Ключевые слова: эффективность азотного лазера, мощность в максимуме напряжения на плазме, пучок убегающих электронов.

Статьи [1, 2] и новая критическая заметка В.В.Аполлонова и В.А.Ямщикова [3] (см. предыдущую статью) посвящены УФ лазеру на полосе $C^3\Pi_u - D^3\Pi_g$ молекулярного азота. Кроме того, в [3] упоминаются и другие лазеры (H_2 - и F_2 -лазеры). Поскольку анализ особенностей работы каждого из лазеров требует написания развернутой статьи с зависимостями и осциллограммами, то в данном ответе я буду обсуждать только азотный лазер. Что касается лазеров ВУФ диапазона, то мы работаем с ними и в будущем представим новые результаты в этой области.

В критической заметке [3] в основном проводится жесткая дискуссия по поводу сделанных мною авторам [2] трех замечаний, касающихся параметра E_m/p (E_m – максимальная напряженность поля на лазерном промежутке, p – давление азота), времени достижения максимальной мощности накачки и напряжения на промежутке, а также точности измерения напряжения на разрядном промежутке. Вот мое мнение по этим вопросам:

1. Авторы [2] в выводах написали: «... в настоящей работе показано, что отношение E_m/p в разряде не оказывает непосредственного влияния на характеристики N_2 -лазера». Это неверно, параметр E_m/p определяет максимальную температуру электронов при накачке. При энергии электронов менее ~ 12 эВ сечение возбуждения нижнего лазерного уровня больше, чем верхнего, и при этих энергиях электронов порог генерации не достигается, а при энергии электронов более ~ 20 эВ сечение ионизации превышает сечение возбуждения верхнего лазерного уровня [4], что снижает КПД азотного лазера. Таким образом, существуют физические причины, определяющие наличие оптимального параметра E_m/p (в общем случае E_m/N , где N – концентрация азота), и мы регистрировали оптимальные E_m/p [1] (см. рис.4 и текст).

2. В аннотации к работе [2] написано: «Установлено, что максимальная энергия генерации достигается при таком давлении азота, когда максимальные мощность накачки и напряжение реализуются одновременно», а в

[3] сказано: «Однако в нашей статье нигде не говорится о том, что при максимальном напряжении на плазме достигается максимальная мощность накачки, как утверждается в [1]». При таких взаимоисключающих утверждениях трудно понять, что авторы [2, 3] хотят доказать, но совершенно ясно, что мое замечание верно, поскольку они отказались от своего утверждения. Отмечу, что в [2, 3] имеются неточности и противоречия, анализ которых не являлся моей задачей в [1], а объем настоящего ответа ограничен. Например, если для схемы замещения на рис.1,б работы [2] взять максимальное напряжение 40 кВ ([2], с. 483) и сопротивление $Z = 5$ Ом ([2], с. 484), то максимальный ток составит 8 кА даже без учета сопротивления $R(t_m)$ (рис.1,б работы [2]). Однако на рис.2,б работы [2] при давлении азота 120 Тор амплитуда тока превышает 10 кА. Авторы [2, 3] не приводят осциллограммы тока через лазерную камеру, но утверждают, что из рис.2,б работы [2] определен ток разряда через лазерную камеру, равный «... 4 кА при максимальном напряжении на плазме 20 кВ» ([2], с. 484) и т.п. Читателям я бы посоветовал перечитать наши статьи.

3. В.В.Аполлонов и В.А.Ямщиков не согласны с замечанием относительно их ошибки при определении осциллограммы напряжения на разрядном промежутке (см. рис.2,а работы [2]) и просят представить правильные экспериментальные осциллограммы. Достаточно точно измеренная осциллограмма спада напряжения на разрядном промежутке приведена в [1] (см. рис.3,б) (длительность нарастания импульса напряжения была равна ~ 50 нс). Вопросы формирования объемных разрядов обсуждаются во многих статьях и книгах (см., напр., [5], с. 251). Напряжение на промежутке при объемном разряде имеет две фазы: фазу быстрого спада напряжения, длительность которой в азоте при давлении в сотни торр и $E_m/p \approx 80 - 200$ В·см $^{-1}$ ·Тор $^{-1}$ не превышает 5 нс, и квазистационарную фазу, в которой напряжение существенно не меняется. На рис.2,а работы [2] спад напряжения идет практически линейно в течение 35–40 нс, что свидетельствует об ошибке в измерениях напряжения на разрядном промежутке.

4. Относительно предложения применить пучок убегающих электронов (10 кэВ) для увеличения КПД азотного лазера еще раз замечу, что при энергии электронов более ~ 20 эВ сечение ионизации превышает сечение воз-

буждения верхнего лазерного уровня [4] и это приводит к снижению КПД азотного лазера. Кроме того, известно, что при накачке одного азота поперечным пучком электронов порог генерации обычно не достигается [6].

И в заключение самое важное: авторы [2] не высказываются конкретно, какие КПД азотного лазера достижимы и в каких условиях. Представление таких результатов наиболее полезно для исследователей и разработчиков азотных лазеров, а точность представленных данных может быть проверена. Кроме того, параметры лазера, созданного авторами [2], весьма низки; так, при генерации в азоте КПД составлял 0.04 %, а энергия излучения не превышала 4 мДж. В наших работах и КПД,

энергия излучения были в несколько раз больше (см. ссылки в [1]).

1. Тарасенко В.Ф. *Квантовая электроника*, **31**, 489 (2001).
2. Аполлонов В.В., Ямщиков В.А. *Квантовая электроника*, **24**, 483 (1997).
3. Аполлонов В.В., Ямщиков В.А. *Квантовая электроника*, **32**, 183 (2002).
4. Paterson L.R., Green A.E.S. *Can. J. Chem.*, **47**, 1777 (1969).
5. *Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том II*. Под ред. В.Е.Фортова (М.: Наука, 2000).
6. Держиев В.И., Лосев В.Ф., Скакун В.С. и др. *Оптика и спектроскопия*, **60**, 811 (1986).