

РАЗРЯД, ИНИЦИИРУЕМЫЙ ФЕРРИТОМ, УСЛОВИЯ ПРОБОЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКИ I₂ ЛАЗЕРА

С.В. Митько, В.Н. Очкин, А.В. Парамонов, А.П. Широких

Исследованы условия пробоя при иницировании газового разряда отоженным слоем феррита (РИФ). Подтвержден тепловой механизм иницирования. Впервые осуществлена накачка I₂ (D' - A') лазера УФ диапазона излучением РИФ. Мощность генерации сопоставима с мощностью при накачке с помощью взрывающейся проволоочки.

Сильноточные разряды используются в качестве высокоярких источников света в видимой, УФ и ВУФ областях спектра. Лучшие результаты (яркостные температуры до 35 кК в ВУФ области спектра) достигнуты с помощью разрядов, иницируемых взрывающейся проволочкой (ВП) /1,2/. Серьезным ограничением этих источников является то, что они принципиально не допускают работы в импульсно-периодическом режиме (ИПР). В /3/ описан источник света на основе линейно-стабилизированного разряда по поверхности диэлектрика, который допускает работу в ИПР и дает близкое значение яркостной температуры. Однако ему присуща сильная зависимость рабочих характеристик от свойств газа и материала диэлектрика.

Недавно появились сообщения о найденной эмпирически возможности формирования мощного протяженного разряда вблизи поверхности феррита /4,5/. При электрическом взрыве проводника над поверхностью феррита происходит ее отжиг, сопровождающийся возникновением тонкого аморфного слоя. Этот слой обладает сопротивлением $10^4 - 10^5$ Ом/см, тогда как сопротивление не подвергнутой отжигу поверхности превосходит 10^8 Ом/см. Если к аморфному слою приложить напряжение ~ 300 В/см, то непосредственно над ним возникнет канал газового разряда. Слой воспроизводится от разряда к разряду, и потому такая система позволяет работать в ИПР. Напряжение пробоя линейно зависит от длины разряда, но практически не зависит от свойств и давления газа (от долей торр до нескольких атмосфер), в котором происходит разряд. Механизм отжига феррита и формирования РИФ не вполне ясен.

РИФ уже нашел ряд практических применений: для УФ предыонизации CO₂ лазера, в качестве плазменного катода рентгеновского диода /6/, как источник оптической накачки ХеF лазера /7/.

В настоящей работе рассмотрены закономерности пробивных характеристик РИФ и описаны эксперименты по оптической накачке I₂ лазера с помощью такого разряда.

Для оценки напряжения пробоя предположим, что необходимым условием пробоя газа над поверхностью феррита является нагрев слоя при протекании по нему тока до определенной температуры T_к. Допустим, что теплоемкость c , плотность ρ и теплопроводность λ слоя и феррита одинаковы и постоянны во времени. Повышение температуры ΔT слоя, к которому приложено напряжение V в течение времени τ можно оценить из соотношения $c\rho v\Delta T \cong V^2\tau/R$, где R — сопротивление проводящего слоя; v — объем феррита, который прогреется к моменту времени τ . Если за это время феррит прогреется на малую, по сравнению с шириной слоя W , глубину $H \sim \sqrt{\lambda\tau/c\rho}$, то $v \cong LWH$ (L — длина слоя). Таким образом $V^2 \cong \Delta TRLW\sqrt{\lambda c\rho/\tau}$. Если реализуется тепловой механизм пробоя ($\Delta T = \Delta T_k$), то пробивное напряжение $V_k \propto \tau^{-1/4}$.

Выполнение последнего соотношения проверялось на установке, схема которой приведена на рис.1. Токопроводящий слой создавался с помощью взрыва тонкой ($\varnothing 0,1$ мм) молибденовой проволоочки, накладываемой на поверхность феррита 1*. Electroды из тантала 2 прижимались к слою на расстоянии

* Как показали наши эксперименты, проводящий слой формируется также в результате облучения поверхности феррита мощным лазерным импульсом длительностью 10 мкс и плотностью мощности $\sim 10^7$ Вт/см² на длине волны 342 нм (I₂ лазер с накачкой излучением разряда ВП /8/).

2 см друг от друга. Сопротивление слоя между электродами при комнатной температуре составляло 12,5 кОм. Напряжение на конденсаторе 3 с емкостью C , варьируемой в пределах 3 – 103 мкФ, контролировалось электростатическим киловольтметром 4. Разряд конденсатора осуществлялся через цепь, включающую управляемый разрядник 5, феррит и шунтирующее сопротивление 6. Сопротивление шунта $R_{ш} = 22 - 165$ Ом было гораздо меньше, чем сопротивление слоя между электродами, так что можно считать $\tau = R_{ш}C$. Напряжение на слое контролировалось с помощью запоминающего осциллографа, сигнал на который подавался с делителя 7. Эксперименты проводились в воздухе при нормальных условиях. Зависимость напряжения пробоя V от характерного времени разряда емкости τ представлена на рис.2. Линейная зависимость V_k от $\tau^{-1/4}$ подтверждает предложенный механизм.

Предварительные измерения интенсивностей света, излучаемого РИФ и ВП в области 200 нм, соответствующей полосе накачки I_2 лазера, показали, что интенсивность излучения РИФ в воздухе не ниже, чем интенсивность излучения ВП при одинаковых удельных энерговкладах. Излучение ВП давно и успешно используется для накачки этого лазера. Поэтому была предпринята попытка получения генерации при накачке излучением РИФ.

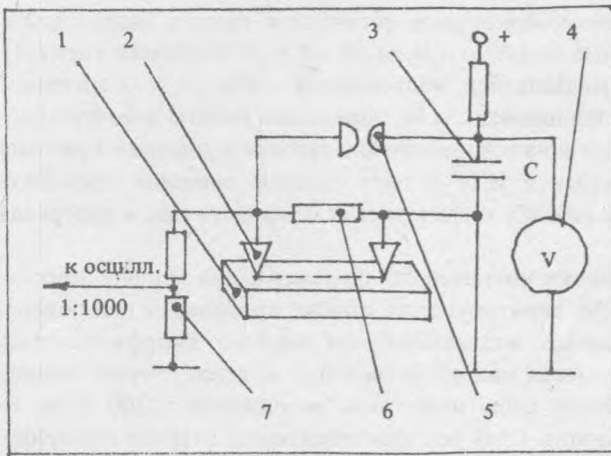


Рис.1. Схема установки для определения напряжения пробоя.

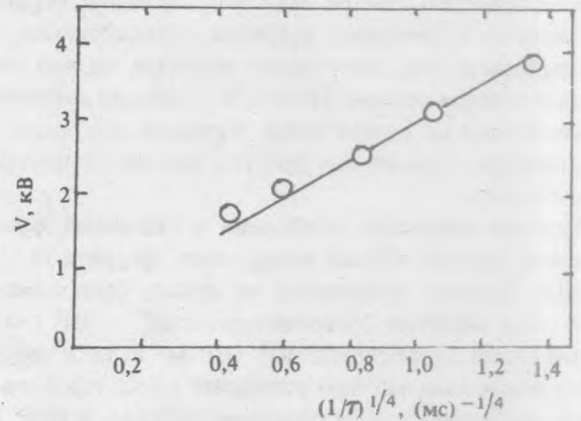


Рис.2. Зависимость напряжения пробоя от постоянной времени разрядной цепи.

Для формирования разряда длиной 46 см применялись 4 ферритовых бруска $12 \times 2 \times 1 \text{ см}^3$ (400 НН), прижатых торцами друг к другу. Проводящий слой создавался описанным выше способом. Энергия, вкладываемая в разряд, запасалась в конденсаторной батарее емкостью 30 мкФ, заряжаемой до напряжения 50 кВ. Разряд осуществлялся вдоль оси нагреваемой лазерной камеры длиной 80 см и диаметром 12 см, конструкция которой описана в /8/. Использовалась рабочая смесь, состоящая из I_2 (3 торр) и CF_4 (3 атм.) Оптический резонатор образован плоскими зеркалами с коэффициентами отражения 0,98 и 0,6. Вследствие выбранной геометрии эксперимента, воздействию излучения накачки подвергалась только половина лазерной камеры. При энергии 37,5 кДж, запасенной в конденсаторной батарее, энергия генерации при накачке излучением РИФ составила 4 Дж при длительности импульса генерации 10 мкс, совпадающей с длительностью первого полупериода разрядного тока. При использовании разряда, инициируемого тонкой ($\varnothing 0,05$ мм) вольфрамовой проволокой, расположенной на расстоянии 1 мм над поверхностью ферритового стержня, энергия генерации составила 6 Дж при той же длительности импульса генерации, что свидетельствует о приблизительном равенстве потоков излучения в полосу накачки при различных способах инициирования.

Максимальная энергия генерации, получаемая при облучении светом ВП всего объема лазерной камеры, составляет 27 Дж /8/. Меньшее значение энергии генерации, полученное в данном эксперименте, может быть связано с менее эффективным использованием излучения источника накачки вследствие иного

расположения источника, а также с тем, что состав рабочей газовой среды и резонатор лазера были выбраны в результате оптимизации при работе с центральным расположением ВП. Есть основания полагать, что энергетика I_2 лазера при накачке РИФ может быть увеличена. Преимуществом РИФ является возможность его использования в ИПР.

Авторы благодарны В.С. Зуеву за поддержку работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев Н.Н. ЖЭТФ, 17, 986 (1947).
2. Борович Б.Л. и др. Сильноточные излучающие разряды и газовые лазеры с оптической накачкой, изд. ВИНТИ, т. 15, М., 1978.
3. Бугримов С.Н. и др. Квантовая электроника, 13, 76 (1986).
4. Watanabe K., Kashiwabara S., Fujimoto R. Appl. Phys. Lett. 50, 629 (1987).
5. Kashiwabara S., Watanabe K., Fujimoto R. J. Appl. Phys. 62, 787 (1987).
6. Watanabe K. et al. Proc. 7th Conf. on Gas flow and Chemical lasers, p.1, Vienna, 1988.
7. Gross R.W.F., Schneider L.E., Amimoto S.T. Appl. Phys. Lett. 53, 2365 (1988).
8. Зуев В.С., Михеев Л.Д., Широких А.П. Квантовая электроника, 9, 573 (1982).

Поступила в редакцию 17 августа 1989 г.