

Лазер на парах меди с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока

И.Д.Костыря*, Г.С.Евтушенко**, В.Ф.Тарасенко*, Д.В.Шиянов**

Впервые создан лазер на парах меди, в генераторе накачки которого использован индуктивный накопитель энергии с полупроводниковым прерывателем тока. В стационарном режиме получена генерация медного лазера с саморазогревным активным элементом объемом 36 см^3 при частоте повторения импульсов 10 кГц и средней мощности излучения 3.3 Вт . Применение индуктивного накопителя энергии в таком лазере дало увеличение средней мощности излучения на 20% по сравнению с таковой при стандартной схеме накачки.

Ключевые слова: лазер на парах меди, генератор с индуктивным накопителем и полупроводниковым прерывателем тока.

1. Введение

В наших работах [1–4] было показано, что индуктивный накопитель энергии (ИНЭ) может успешно использоваться для накачки импульсных газовых лазеров на плотных газах при малых частотах повторения импульсов. Генераторы с ИНЭ позволяют легко изменять режимы накачки и осуществлять возбуждение лазеров различного типа в оптимальных условиях.

Создание специальных полупроводниковых прерывателей тока (SOS-диодов) [5] позволило существенно расширить возможности использования генераторов с ИНЭ, в частности создать генераторы с высокой частотой повторения импульсов f . Так, при работе подобных генераторов на активную нагрузку максимальная частота f в стационарном режиме составила 1 кГц , а в режиме коротких (30–40 с) включений – 5 кГц [5]. В [6] было показано, что ИНЭ с полупроводниковым прерывателем тока может работать при $f = 12 \text{ кГц}$.

Однако в литературе нет данных, характеризующих различные режимы накачки импульсных газовых лазеров индуктивными накопителями при $f > 100 \text{ Гц}$, даже при накачке продольным разрядом. В то же время для целого класса лазеров на парах металлов [7–9], в том числе и для самого эффективного из них – лазера на парах меди, – нужны новые генераторы накачки с $f \gtrsim 10 \text{ кГц}$.

В данной работе впервые исследуется саморазогревный лазер на парах меди ($\lambda = 510, 5$ и 578.2 нм) при накачке от генератора с индуктивным накопителем энергии, перспективным для накачки лазеров на парах металлов с высокой частотой повторения импульсов.

2. Экспериментальные установки и методики

Электрическая схема установки была подобна используемой в [3, 6]. Питание осуществлялось от высоко-

вольтного выпрямителя, который заряжал конденсатор емкостью 20 мкФ до напряжения $1–5 \text{ кВ}$. Этот конденсатор через дроссель и диод соединялся с конденсатором емкостью 2000 пФ и заряжал его до удвоенного напряжения при $f \sim 1–12 \text{ кГц}$. После срабатывания тиратрона (ТГИ-2500/50 с водяным охлаждением) конденсатор емкостью 2000 пФ через индуктивность 11.3 мГн и тиратрон заряжал конденсатор $C_1 = 2000 \text{ пФ}$ (рис.1). Примерно при максимальном напряжении на C_1 срабатывал водоохлаждаемый магнитный дроссель L_1 , собранный из 175 ферритовых колец марки М1000НМ размерами $20/10/5 \text{ мм}$.

При зарядке конденсатора C_1 ток через SOS-диоды шел в прямом направлении, а при срабатывании дросселя L_1 – в обратном. Это вызывало обрыв тока SOS-диодом и формирование за счет энергии, запасенной в индуктивности, импульса высокого напряжения на активном элементе, включенном параллельно SOS-диодам. Более подробно работа аналогичной схемы описана в [3]. Отметим, что в этих экспериментах мощность, отбираемая от выпрямителя и коммутируемая тиратроном, была существенно меньше максимальной и на порядок превышала мощность выпрямителя из работы [3].

В качестве прерывателя тока использовались специальные кремниевые диоды типа SOS-25-2, SOS-50-2 или SOS-150-2 [5] с максимальным обратным напряжением 25, 50 или 150 кВ соответственно и максимальной ампли-

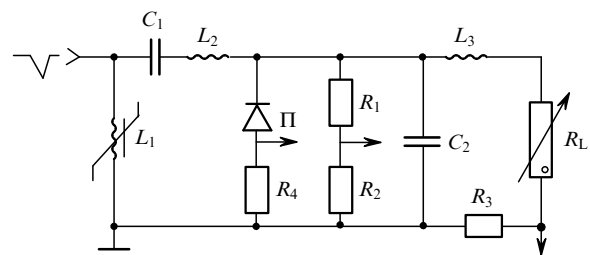


Рис.1. Принципиальная схема индуктивного генератора накачки лазера на парах меди с полупроводниковым прерывателем тока: C_1 – накопительные емкости; C_2 – обострительная емкость; L_1 – магнитный ключ; R_L – сопротивление нагрузки (лазерной трубки); R_1 – R_4 – делители напряжения и токовые шунты; Π – полупроводниковый прерыватель тока.

*Институт сильноточной электроники СО РАН, Россия, 634055 Томск, Академический просп., 4; e-mail: VFT@loi.hcei.tsc.ru

**Институт оптики атмосферы СО РАН, Россия, 634055 Томск, Академический просп., 1; e-mail: qel@asd.iao.tsc.ru

тудой обрываемого тока 2 кА, которые помещались в трансформаторное масло. Были исследованы три сборки включенных параллельно SOS-диодов: первая состояла из четырех диодов SOS-25-2, вторая – из четырех диодов SOS-50-2 и третья – из двух диодов SOS-150-2. Параллельное включение диодов использовалось нами для уменьшения среднего тока через них при высоких частотах повторения.

В качестве нагрузки применялся отпаянный активный элемент на парах меди с воздушным охлаждением. Диаметр разрядного канала равнялся 1 см, межэлектродное расстояние составляло 46 см. На торцах кварцевой трубки, в которую помещалась керамическая трубка с разрядным каналом, был установлен конфокальный неустойчивый резонатор. Буферным газом служил неон при давлении 30 Тор. При подаче напряжения на холодный активный элемент в керамической трубке происходил пробой неона, а после разогрева трубки – смеси неона с парами меди.

Активный элемент имел воздушное охлаждение и подключался параллельно SOS-диодам. В большинстве экспериментов параллельно активному элементу подсоединялись обострительные конденсаторы $C_2 = 22, 100, 200$ или 330 пФ. Для накачки данного активного элемента использовалась также обычная схема с емкостными накопителями и коммутацией тиратроном ТГИ1-1000/25. Осциллограммы напряжения и тока на установке измерялись омическими делителями, шунтами или поясом Роговского, сигналы с которых направлялись на осциллограф TDS-220.

3. Результаты и их обсуждение

Как показано в [6], ИНЭ с полупроводниковым прерывателем тока может работать при высоких (до 12 кГц) частотах повторения импульсов. При накачке саморазогреваемых лазеров на парах металлов генератор возбуждения должен выполнять две функции: во-первых, разогревать активный элемент до рабочей температуры и обеспечивать необходимую концентрацию паров меди, во-вторых, обеспечивать эффективную накачку активной среды.

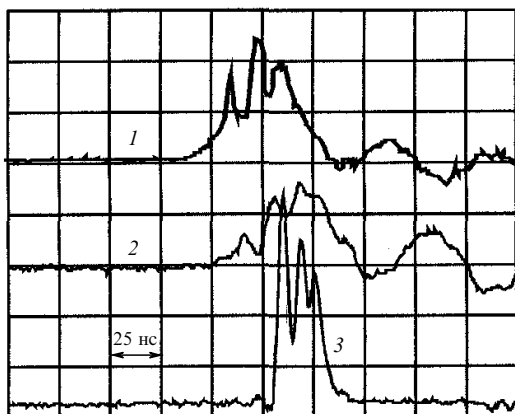


Рис.2. Осциллограммы импульсов напряжения на активном элементе и индуктивности соединительных шин (1), тока через активный элемент (2) и генерации на желтой и зеленой линиях (3) при частоте следования импульсов 10 кГц и использовании четырех диодов SOS-50-2, включенных параллельно; емкость обострительного конденсатора 200 пФ, напряжение выпрямителя 5 кВ, средняя мощность излучения 2.1 Вт, цена деления по оси ординат 6.5 кВ (1) или 215 А (2).

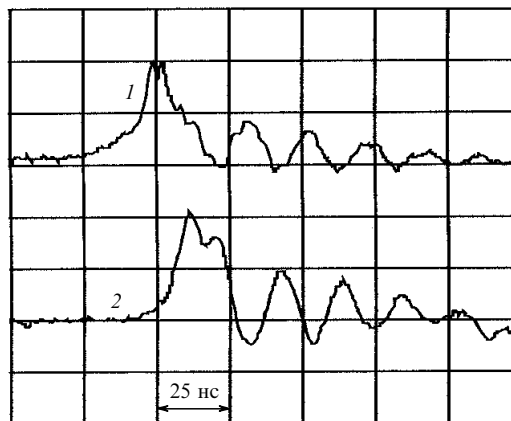


Рис.3. Осциллограммы импульсов напряжения на активном элементе и индуктивности соединительных шин (1) и тока через активный элемент (2) при частоте следования импульсов 10 кГц и использовании четырех диодов SOS-50-2, включенных параллельно; емкость обострительного конденсатора 22 пФ, напряжение выпрямителя 5 кВ, цена деления по оси ординат 6.5 кВ (1) или 215 А (2).

На рис.2–4 приведены характерные осциллограммы импульсов напряжения на активном элементе, включая индуктивность подводящих шин, тока через активный элемент и излучения. Излучение регистрировалось одновременно на желтой и зеленых линиях лазера. В экспериментах мы изменяли сборки прерывателя тока, емкость обострительного конденсатора и напряжение выпрямителя. Генератор накачки мог работать при $f = 1 - 12$ кГц, эксперименты проводились при $f = 10$ кГц.

Варьирование сборок прерывателя тока показало, что наилучшие результаты достигаются при наибольшем соответствии обратного напряжения SOS-диода импульсному напряжению на активном элементе. С увеличением разности этих напряжений увеличиваются потери в SOS-диоде, что затрудняет разогрев активного элемента до рабочей температуры. Так, при емкости обострительного конденсатора 100 пФ с SOS-диодами на 150 кВ порог генерации не достигался из-за низкой температуры активного элемента, с SOS-диодами на 50 кВ мощ-

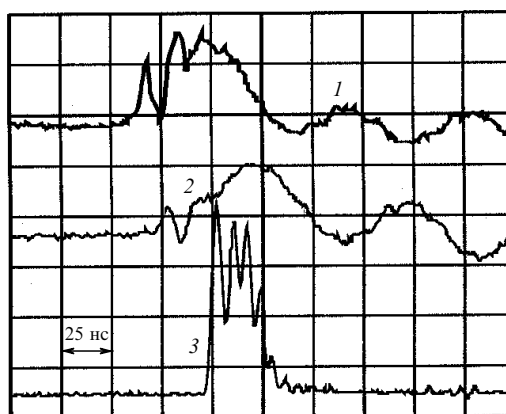


Рис.4. Осциллограммы импульсов напряжения на активном элементе и индуктивности соединительных шин (1), тока через активный элемент (2) и генерации на желтой и зеленой линиях (3) при частоте следования импульсов 10 кГц и использовании четырех диодов SOS-25-2, включенных параллельно; емкость обострительного конденсатора 330 пФ, напряжение выпрямителя 4.85 кВ, средняя мощность излучения 3.3 Вт, цена деления по оси ординат 6.5 кВ (1) или 215 А (2).

ность генерации составила 1.5 Вт (рис.2) и с SOS-диодами на 25 кВ она превысила 2 Вт.

Варьирование емкости обострительного конденсатора C_2 показало, что при малых или равных нулю C_2 достигаются максимальные напряжения на активном элементе и уменьшается длительность импульса тока, однако эффективность разогрева активного элемента при этом ухудшается. Так, с SOS-диодами на 50 кВ и $C_2 = 22$ пФ напряжение на активном элементе достигало 26 кВ, а ток – 590 А (рис.3), но из-за недостаточной температуры активного элемента мощность генерации была очень мала и не измерялась. При увеличении C_2 до 100 пФ средняя мощность излучения возросла до 1.5 Вт, а при $C_2 = 200$ пФ она достигла 2.1 Вт. Наибольшая средняя мощность излучения, равная 3.3 Вт (рис.4), была получена при $C_2 = 200 - 300$ пФ и SOS-диодах на 25 кВ.

Полная расходимость излучения по измерениям в дальней зоне не превышала 3 мрад. При этом лазер непрерывно работал до 8 ч (большие времена не исследовались), а температура масла, охлаждающего SOS-диоды, не изменялась после первых 10 мин работы лазера и не превышала 45 °С для диодов SOS-25-2 и 63 °С для диодов SOS-50-2. Напряжение выпрямителя в оптимальных режимах составляло 4.8–5 кВ.

Мы также накачивали данный активный элемент обычным генератором с емкостным накопителем и коммутацией тиратроном. При этом была получена средняя мощность излучения 2.7 Вт, что на 20 % меньше мощности нового лазера. В дальнейшем мы планируем провести подробный анализ потерь энергии в различных элементах генератора накачки с ИНЭ и полупроводниковым прерывателем тока, а также исследовать лазеры на парах металлов, которые требуют более короткого и мощного импульса накачки, что позволит уменьшить рабочую температуру активного элемента.

4. Заключение

Таким образом, применение ИНЭ и полупроводникового прерывателя тока для накачки лазера на парах меди позволяет увеличить амплитуду напряжения на активном элементе и разрядный ток через него. При $f = 10$ кГц на активном элементе с объемом разрядной области 36 см³ получена средняя мощность лазерного излучения 3.3 Вт. Сравнение средней мощности излучения на данном активном элементе при использовании стандартной и новой схем накачки показало, что применение индуктивного накопителя энергии дало увеличение средней мощности излучения на 20 %.

Авторы пользуются случаем поблагодарить С.Н.Рукина за предоставление SOS-диодов (SOS-150-2), а В.Б.Суханова – за предоставление активного элемента лазера на парах меди.

1. Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. *Квантовая электроника*, **17**, 32 (1990).
2. Ломаев М.И., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. *Оптика атмосферы и океана*, **8**, 1606 (1995).
3. Бакшт Е.Х., Визирь В.А., Кунц С.Э., Орловский В.М., Панченко А.Н., Рукин С.Н., Тарасенко В.Ф. *Оптика атмосферы и океана*, **13**, 243 (2000).
4. Vaksht E.N., Panchenko A.N., Tarasenko V.F. *IEEE J.Quantum Electron.*, **35**, 261 (1999).
5. Рукин С.Н. *ПТЭ*, № 4, 5 (1999).
6. Костыря И.Д., Тарасенко В.Ф. *Оптика атмосферы и океана*, **14**, 722 (2001).
7. Солдатов А. Н., Соломонов В. И. *Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов* (Новосибирск, Наука, 1985).
8. Little С.Е. *Metal vapour lasers: physics, engineering & applications* (Chichester, UK, Wiley, 1998).
9. Батенин В.М., Бучанов В.В., Казарян М.А., Климовский И.И., Молодых И.Э. *Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов* (М., Научная книга, 1998).