

Письма в ЖЭТФ, том 16, вып. 8, стр. 471 – 475

20 октября 1972 г.

**ФОРМИРОВАНИЕ СУБПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ
УФ ДИАПАЗОНА
ПУТЕМ МНОГОКРАТНОГО НЕЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

*С. А. Ахманов, Р. Ю. Орлов, И. Б. Схидан,
Л. С. Телегин*

1. Предметом настоящей статьи является описание генератора сверхкоротких импульсов, излучающего в диапазоне длин волн $\lambda = 0,26 \div 0,28 \text{ мк}$

импульсы длительностью до $0,5 \cdot 10^{-12}$ сек и мощностью ~ 10 Мвт. Для генерации таких импульсов использовалось двукратное удвоение частоты излучения пикосекундного лазера на стекле с Nd^{3+} . Дискретная перестройка частоты в УФ области достигалась за счет ВКР излучения четвертой гармоники ($\lambda_4 = 0,26$ мк) в жидком азоте. Энергетический КПД преобразования в четвертую гармонику достигал 5%.

Существенным достоинством использованного нами метода генерации УФ пикосекундных импульсов является достигаемое в процессе многократных нелинейных преобразований улучшение структуры цуга (подавление спутников, фильтрация крыльев несинхронизованного спектра) и сужение импульса.

2. Пикосекундные импульсы в УФ области представляют значительный интерес в качестве источника накачки УФ лазеров, для определения времен релаксации электронных уровней, исследования нестационарных нелинейных эффектов.

Каскадное преобразование частоты представляется в настоящее время практически единственной возможностью получения достаточно мощных пикосекундных импульсов в области $\lambda = 0,26$ мк.

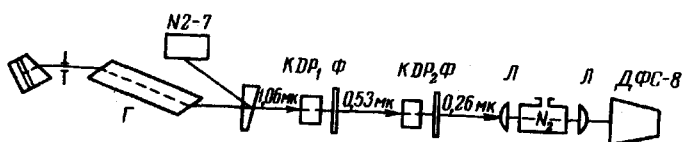


Рис. 1. Схема эксперимента: Г — генератор пикосекундных импульсов, $\text{KDP}_{1,2}$ — удвоители частоты на кристаллах KDP, Ф — фильтры, N_2 — криостат с жидким азотом, И2-7 — осциллограф и другая измерительная аппаратура

3. Установка (см. рис. 1) состояла из генератора пикосекундных импульсов на стекле ЛГС-1 и двух умножителей частоты. В задающем лазере кювета с красителем составляла одно целое с глухим зеркалом; раствор красителя прокачивался через кювету после каждой вспышки.

Генератор работал в режиме низшей поперечной моды, выделяемой диафрагмой диаметром 2,2 мк. Типичные данные цуга пикосекундных импульсов были следующими: полная энергия цуга из двадцати импульсов $W_1 = 5 \cdot 10^{-2}$ Дж; длительность импульса (по треку двухфотонной люминесценции) $\tau_{и} = 4 \cdot 10^{-12}$ сек; пиковая интенсивность в нефокусированном пучке $I_1 = 4 \cdot 10^{10}$ вт/см². В качестве первого удвоителя (длина волны на выходе $\lambda_2 = 0,53$ мк) в наших экспериментах использовались кристаллы KDP, ADP и CDA; во втором удвоителе (длина волны на выходе $\lambda_4 = 0,26$ мк) могут быть использованы только кристаллы KDP или ADP. Эффективное квазистатическое удвоение частоты, сопровождающееся сужением импульса, происходит, если длина нелинейного кристалла l выбрана таким образом, что $l \gg l_{нл} \sim (k \chi E)^{-1}$ ($l_{нл}$ — так называемая длина нелинейного взаимодействия) и $l < L_{ij}$

$= \tau_i |u_i^{-1} - v_i^{-1}|^{-1} (L_{ij} - \text{длина группового запаздывания взаимодействующих импульсов}).$

Для кристалла KDP, при $\tau_{1,2} = 3 \div 4 \cdot 10^{-12} \text{ сек}$, $L_{12} = 15 \text{ см}$, $L_{2,4} = 1 \text{ см}$. Соответственно, нелинейные длины при $I = 2 \div 4 \cdot 10^{10} \text{ вт/см}^2$,

$l_{\text{нл}}^{(12)} = 0,2 \text{ см}$, $l_{\text{нл}}^{(24)} = 0,1 \text{ см}$. Исходя из этих оценок длина кристалла

KDP в первом удвоителе выбиралась равной $l_1 = 4 \text{ см}$, а во втором $l_2 = 0,2 \text{ см}$. В ряде экспериментов в первом удвоителе использовался кристалл CDA; его использование целесообразно, если расходимость пучка основного излучения велика.

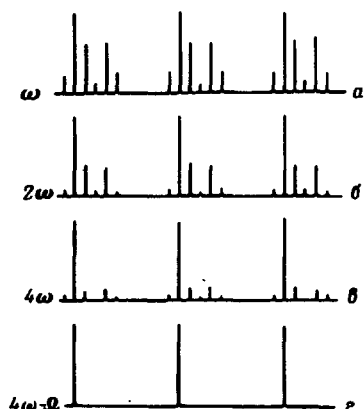


Рис. 2. Схематическая диаграмма, поясняющая процесс улучшения структуры цуга пикосекундных импульсов при их трехкратном нелинейном преобразовании. На рис. 2, а изображена одна из реализаций последовательности импульсов с субструктурой; на рис. 2, б, в, г — результаты их преобразования в удвоителях и при ВКР в жидком азоте

Характеристики преобразователя на кристаллах KDP приведены в таблице. Величины полной ширины спектров измерены по полувысоте распределения интенсивности.

Характеристики генератора пикосекундных импульсов УФ диапазона

Длина волны мк	Энергия цуга дж	Ширина спектра см ⁻¹	Пиковая мощность вт/см ²
1,060	$5 \cdot 10^{-2}$	8	$4 \cdot 10^{10}$
0,530	$1 \cdot 10^{-2}$	25	$1,7 \cdot 10^{10}$
0,265	$1 \cdot 10^{-3}$	50	$5 \cdot 10^9$
0,282	$2 \cdot 10^{-4}$	—	$1 \cdot 10^9$

(1-й стокс)

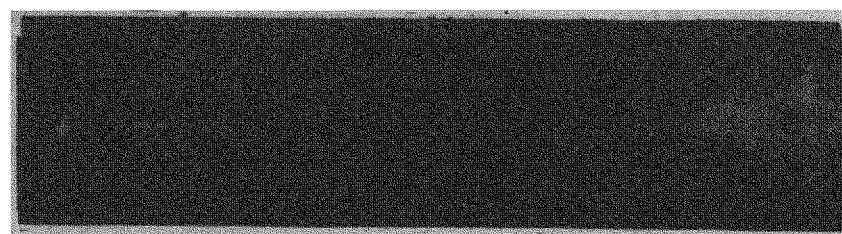
ВКР в N₂

Спектральные измерения (как и осциллограммы цугов) свидетельствуют о существенном улучшении структуры цуга (подавление спутников и т. п.) в процессе каскадного умножения частоты и ВКР (см. рис. 2).

Спектры четвертой гармоники были гладкими и симметричными (самофокусировка и автомодуляция в кристаллах KDP отсутствовали); в результате импульсы четвертой гармоники имели длительность, близкую к обратной ширине спектра.

4. Оценки мощности излучения лазера и его гармоник могут быть выполнены не только на основании измерения энергии и длительности импульса, но и косвенно — по эффектам насыщения в удвоителях частоты и пороговым эффектам, таким как ВКР и самофокусировка, эти данные использованы в таблице.

Нелинейные явления в жидком азоте использовались и для оценки длительности наносекундных импульсов, сформированных в результате трехкратного нелинейного преобразования. На рис. 3 приведена микрофотограмма и спектрограмма спектра, первой стоксовой компоненты ВКР, возбужденного излучением четвертой гармоники в жидком азоте. Форма спектра с хорошей степенью точности соответствует спектру,



а

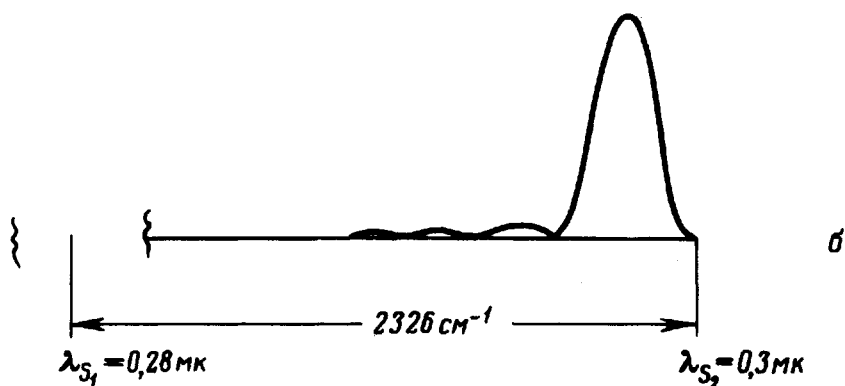


Рис. 3. Спектрограмма и микрофотограмма спектра первой стоксовой компоненты ($\lambda_s = 0,28 \text{ мк}$) и его уширения, вызванного фазовой модуляцией

обусловленному фазовой самомодуляцией одиночного импульса длительности $\tau = 0,4 \cdot 10^{-12} \text{ сек}$ [1]. Это значение согласуется с оценкой, полученной из данных по ширине спектра четвертой гармоники ($\Delta\nu_4 \approx 50 \text{ см}^{-1}$, $\tau_4 \approx (\Delta\nu_4)^{-1} \approx 0,6 \cdot 10^{-12} \text{ сек}$). Дополнительное сжатие стоксова импульса связано с нестационарными эффектами при ВКР (см., например, [2]).

5. Длительность и форму [3] импульса четвертой гармоники в нашей установке можно было контролируемым образом изменять, увеличивая длину кристалла во втором удвоителе. Расчет [3] показывает, что длительность импульса четвертой гармоники можно изменять в пределах $0,5 \pm 5$ псек увеличивая длину второго кристалла KDP от 0,2 до 4 см.

Факт модуляции длительности (и формы) подтверждался экспериментами, в которых длительность и форма импульса определялись по характеристикам самовоздействий и ВКР в жидком азоте. С импульсами длительностью $\sim 0,5$ псек сужения спектра наблюдались при мощностях четвертой гармоники, меньших пороговой мощности нестационарного ВКР; в поле длинных импульсов картина была обратной - ВКР (с несколькими стоксовыми компонентами) возникало значительно раньше, нежели сужения.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
20 сентября 1972 г.

Литература

- [1] R. Cubeddu, R. Polloni, C. A. Sacchi, O. Svelto. Phys. Rev. A2, 1955, 1970.
- [2] С.А.Ахманов, К.И.Драбович, А.П.Сухоруков, А.С.Чиркин. ЖЭТФ, 59, 485, 1970.
- [3] С.А.Ахманов, А.П.Сухоруков, А.С.Чиркин. ЖЭТФ, 55, 143, 1968.