

- [2] Жапак Т.Ф. - Phys. Rev. A., 1964, v. 134, p. 441-460.
- [3] Боровик А.Е., Кулешов В.С., Стржеменч-ный М.А. - ЖЭТФ, 1975, т. 68, № 6, с. 2236.
- [4] Дедух Л.М., Инденбом М.В., Никитен-ко В.Н. - ЖЭТФ, 1981, т. 80, № 1, с. 380-396.
- [5] Григоренко А.Н., Домнин П.В., Мишин С.А., Рудашевский Е.Г. - ПТЭ, 1987, № 3, с. 175-176.
- [6] Григоренко А.Н., Мишин С.А., Рудашев-ский Е.Г. - ПТЭ, 1988, № 1, с. 163-165.
- [7] Кондорский Е.И. - ЖЭТФ, 1940, т. 10, № 4, с. 420-440.

Поступило в Редакцию
24 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 19

12 октября 1988 г.

АНАЛОГ ЛАЗЕРА УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В РАДИОДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

М.Н. Нерсисян, П.С. Погосян

В работе сообщается о получении когерентных ультракоротких импульсов миллиметрового диапазона длин волн при помощи черенковского механизма взаимодействия лазерного излучения с нелинейной средой [1, 2].

В качестве накачки был применен пикосекундный лазер на стекле с неодимом. Излучение лазера представляло собой пучок импульсов с общей длительностью ~ 500 нс, энергией ~ 20 мДж, интервалом между импульсами ~ 7 нс. Диаметр пучка равнялся 0.8 мм. Средняя по пучку длительность импульсов измерялась методом ГВГ и составляла ~ 20 пс. Черенковское излучение возбуждалось в пластине из кристалла ниобата лития. Поляризация падающего излучения и оптическая ось кристалла лежала в плоскости параллельной поверхностям пластины, т.е. смещение частот накачки происходило за счет наибольшей компоненты тензора нелинейной восприимчивости кристалла.

Следует заметить, что полное внутреннее отражение черенковского излучения от поверхности пластины и значительные диэлектрические потери в кристаллах ниобата лития ($1-2 \text{ см}^{-1}$, см., например, [3]) создают большие трудности для эффективного вывода излучения из кристалла. Учитывая эти обстоятельства, оптическая толщина кристалла делалась порядка длины волны излучения, т.е. пластина представляла собой антенну поверхностных волн. Регистрация излучения проводилась рупорными антеннами в диапазоне длин волн от 2 мм до 30 мм. Используя детекторные головки с диодами Д406, Д407,

Д607 и соответствующие согласующие элементы, можно было весь диапазон разделить на три поддиапазона: I) 2–6 мм, II) 6–15 мм, III) 15–30 мм. Осциллограммы накачки и возбуждаемого излучения снимались с помощью осциллографов С7-15 и С7-10Б соответственно.

Как и следовало ожидать, с уменьшением толщины пластины мощность излучения на всех поддиапазонах увеличивалась. Например, отношение мощностей для пластин с толщиной 1 и 3 мм и с одинаковой площадью $20 \times 20 \text{ мм}^2$ составляла ~ 10 . В соответствии с этим дальнейшие исследования проводились с пластинами толщиной $\sim 1 \text{ мм}$.

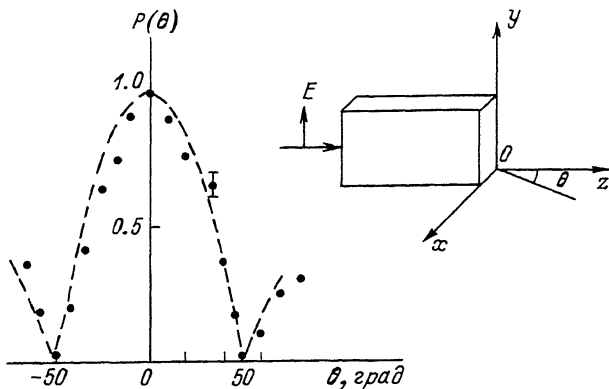
Из сравнения осциллограмм основного и разностного излучений следует, что в поддиапазоне III (15–30 мм) они совпадали, во II (6–15 мм) отличались не только по форме цуга, но и по количеству импульсов в цуге. Отношение числа импульсов составляло ~ 1.5 . В поддиапазоне I (2–6 мм), помимо большого отличия по форме, отношение числа импульсов составляло ~ 2 . Полученные результаты можно объяснить, исходя из следующих простых соображений. Черенковское излучение фактически представляет собой излучение разностной частоты при неколлинеарном взаимодействии компонент углового спектра накачки. Можно показать, что для гауссового профиля накачки максимальное излучение возбуждается при условии

$$\lambda = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} \sqrt{\tau^2 c^2 + \frac{a^2}{2} (\epsilon - \epsilon_0)}, \quad (1)$$

где λ – длина волны излучения, τ – длительность импульса, c – скорость света, a – эффективный радиус пучка, ϵ и ϵ_0 – диэлектрические проницаемости кристалла на частотах разностного и основного излучений соответственно. Подставляя в (1) $\tau = 20 \text{ пс}$, $\epsilon_0 = 5$, $\epsilon = 28$, $a = 0.5 \text{ мм}$ получаем $\lambda = 22 \text{ мм}$, т.е. поддиапазон III (15–30 мм) охватывает спектр почти всех импульсов цуга. Оценки показали, что мощность излучения по всему цугу составляла $\sim 3 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/Гц}$. Это соответствует мощности отдельных импульсов $\sim 70 \text{ Вт}$.

Исследовалось также угловое распределение мощности излучения. Результаты для поддиапазона III (15–30 мм) приведены на рисунке. Во всех поддиапазонах максимум излучения наблюдался в направлении распространения накачки. Угловая полуширина излучения разностной частоты составляла $\sim 25^\circ$. Эти результаты находятся в удовлетворительном согласии с расчетами углового распределения мощности излучения поверхностных антенн, выполненных по методу Кирхгофа–Котлера:

$$P(\theta) = \sqrt{\epsilon_0 - \cos^2 \theta} \left| \text{sinc} c \frac{\pi L}{\lambda} (\sqrt{\epsilon_0 - \cos \theta}) \right|,$$



где L – длина кристалла, $\text{sin}(cx) = (\text{sin } x)/x$, θ – угол распространения излучения в плоскости xOz . Расчетная кривая по формуле (2) при $\lambda = 22$ мм и $L = 22$ мм приведена на рисунке пунктирной линией.

Таким образом, черенковский механизм взаимодействия позволяет получить аналог лазера ультракоротких импульсов в СВЧ диапазоне. Несмотря на небольшое КПД преобразования, создание таких источников представляет интерес не только для исследования характеристик лазеров УКИ, но могут найти ряд других применений. Таких, как спектроскопия твердого тела, исследование динамики разрушения энергетической щели в сверхпроводниках и т.д. В работе [4] черенковский механизм излучения применялся для электрооптического стробоскопирования импульсов фемтосекундной длительности. Наши исследования могут удачно дополнить эти измерения, особенно в инфракрасном и ультрафиолетовом областях спектра, где невозможно применить метод электрооптического стробоскопирования из-за отсутствия соответствующей аппаратуры.

Авторы признательны М.Л. Тер-Микаеляну за интерес к работе и ценные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

- [1] А с к а р ь я н Г.А. – ЖЭТФ, 1962, т. 42, в. 5, с. 1360-1364; – ЖЭТФ, 1963, т. 45, в. 3, с. 643-646; А s - k a r y a n G.A. – Phys. Rev. Lett., 1986, v. 57, N 19, p. 2470.
- [2] Б а г д а с а р я н Д.А., М а к а р я н А.О., П о г о с я н П.С. – Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 37, в. 10, с. 498-500.
- [3] П о п л а в к о Ю.М., М е р и а к р и В.В., А л е ш е ч к и н В.Н., Ц ы к а л о в В.Г., У ш а т к и н Е.Ф., К н я з е в А.С. – ФТТ, 1973, т. 15, № 5, с. 1473-1476.

[4] A u s t o n D.H., C h e u n g K.P., V o l -
d m a n i s J.A., K l e i n m a n D.A. -
Phys. Rev. Lett., 1984, v. 53, N 16, p. 1555-1558.

Институт физических
исследований АН Арм. ССР,
Аштарак

Поступило в Редакцию
6 января 1988 г.
В окончательной редакции
5 сентября 1988г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 19

12 октября 1988 г.

ПЛЕНКИ ВТСП $J-Ba-Cu-O$ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОДЛОЖКАХ (SiC)

В.Н. А н д р е е в, И.М. Б а р а н о в,
В.А. Д м и т р и е в, А.В. С у в о р о в,
В.Е. Ч е л н о к о в, Ф.А. Ч у д н о в с к и й,
Э.М. Ш е р, А.В. Ш у м и л о в,
А.Н. Я н у т а

Контакт сверхпроводника с полупроводником - основа для новых устройств микроэлектроники. Открытие высокотемпературной сверхпроводимости [1] и синтез сверхпроводящих материалов с высокой критической температурой [2] - высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), - делают реальным создание устройств на основе контакта сверхпроводник-полупроводник, работающих при температуре жидкого азота и выше.

Однако, создание контакта ВТСП-полупроводник является достаточно сложной задачей вследствие технологической „несовместимости“ высокотемпературных сверхпроводящих материалов с полупроводниковыми материалами.

В настоящем сообщении возможность осуществления такого контакта показана на примере системы ($J-Ba-Cu-O$)-(SiC). Контакт сверхпроводника с полупроводником получен при напылении тонкой пленки (0.5-1 мкм) $J-Ba-Cu-O$ на карбиде кремния. Напыление проводили в вакууме методом лазерного распыления [3, 4] сверхпроводящего материала на подогреваемую подложку. Использовали лазер на алюмоиттриевом гранате с неодимом. Мишенью служила предварительно изготовленная сверхпроводящая керамика $J_1-Ba_2-Cu_3-O_7$ с критической температурой $T_k \approx 90$ К. В качестве подложек использовали эпитаксиальные слои кубического карбида кремния (3C-SiC) толщиной ~ 1 мкм, выращенные на кремниевых подложках [5]. После напыления структуры сверхпроводник-полупроводник отжигали в среде кислорода.

Измерения температурной зависимости сопротивления $R(T)$ пленки ВТСП на SiC-подложке проводили в гелиевом криостате 4^x -контактным методом. Диапазон токов при измерении 0.1-10 мкА.