

07

© 1991

ГЕНЕРАЦИЯ СУБНАНОСЕКУНДНЫХ  
ИМПУЛЬСОВ ИЗЛУЧЕНИЯГ.А. М е с я ц, В.В. О с и п о в,  
В.И. С о л о м о н о в

В последнее время неуклонно растет интерес к исследованиям, связанным с генерацией и усилением импульсов излучения субнано-секундной длительности. Получение таких сигналов, в частности, когерентного излучения, обеспечивается вырезанием короткого импульса из более длительного, или выделением отдельного пика из цуга импульсов, генерируемых лазером в режиме синхронизации мод [1, 2].

В настоящей работе предлагается метод получения импульсов света субнано-секундной длительности, в котором последняя достигается за счет соответствующей длительности накачки. Такой подход может быть реализован при накачке конденсированных сред электронным пучком субнано-секундной длительности. Полученные таким образом импульсы излучения могут оказаться полезными в спектроскопии, при исследовании быстропротекающих процессов, для накачки лазеров на конденсированных средах и т.п.

Субнано-секундный электронный пучок формировался по схеме, приведенной в [3]. Высоковольтный импульс длительностью 2–3 нс и амплитудой 200–300 кВ производился генератором импульсов напряжения (ГИН) от малогабаритного ускорителя электронов „РАДАН-300“. Этот импульс подавался на сжимающую линию, состоящую из обостряющегося и срезающего разрядников. Укороченный до 0,3–0,5 нс импульс через передающую линию поступал на взрывоэмиссионный катод вакуумного диода, анодом которого служила алюминиевая фольга. Исследовались характеристики излучения широкозонного полупроводника  $CdS$ , кристаллы которого располагались непосредственно за анодной фольгой. Они могли охлаждаться до температуры жидкого азота.

На рис. 1 приведены осциллограммы световых импульсов, полученных с графитовым катодом диаметром 6 мм. Максимальная мощность светового излучения (0,6 МВт) достигалась при температуре кристаллов, равной температуре жидкого азота (2), и она уменьшалась в  $\sim 2,2$  раза при нагреве кристаллов до комнатной температуры (1). При этом длительность импульса света в пределах статистической погрешности не изменялась и ее среднее значение равнялось  $\tau_{\text{ш}} = 0,46$  нс по полувысоте.

Осциллограммы световых импульсов фиксировались фотоэлектрическим преобразователем ФК-26 и скоростным осциллографом

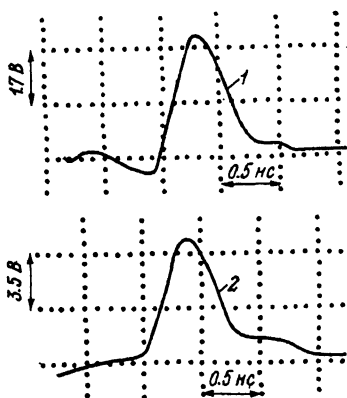


Рис. 1. Осциллограммы импульсов светового излучения.

1 - при комнатной температуре кристалла  $CdS$ , 2 - при температуре жидкого азота.

С7-19. Временное разрешение системы не хуже 0,3 нс.

При изменении температуры кристаллов изменялся спектральный состав излучения (рис. 2), который регистрировался спектрографом ИСП-30. С понижением температуры максимум спектральной полосы сдвигался в синюю область. Максимальное смещение полосы достигало  $\sim 20$  нм при изменении температуры кристаллов от комнатной (2) до температуры жидкого азота (1).

Малая, по сравнению с ожидаемой, мощность излучения потребовала исследования ограничений, накладываемых на процесс преобразования в свет энергии, накопленной в формирующей линии ПИНа. В экспериментах предполагалось, что излучение по форме повторяет импульс электронного пучка. Такое предположение основано на том, что характерное время затухания люминесценции [4]

$$\tau = (BG)^{-1/2},$$

определяемое коэффициентом межзонной рекомбинации  $B$  и скоростью генерации электронно-дырочных пар

$$G = jE(ed\mathcal{E}_n)^{-1}$$

мало (при наших параметрах электронного пучка  $G = 2.8 \cdot 10^{28} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\tau \leq 0.5$  нс). Здесь  $j$ ,  $\mathcal{E}$ ,  $d$  - плотность тока электронного пучка, энергия электронов в пучке и глубина их проникновения в кристалле соответственно,  $e$  - заряд электрона,  $\mathcal{E}_n$  - энергия образования электронно-дырочной пары.

Было установлено, что на передачу энергии из формирующей линии в электронный пучок не влияет волновое сопротивление формирующей и передающей линий в диапазоне 40-100 Ом, а уменьшение длины межэлектродного вакуумного промежутка от 4,2 до 2,5 мм приводит лишь к незначительному увеличению энергии. При использовании катода в виде стальных острий, расположенных по окружности диаметром 6 мм с шагом 1 мм при энергии, запасаемой в формирующей линии 1 Дж, в электронный пучок передается 1-2 мДж. После установки сплошного графитового катода ( $\varnothing$  6 мм) энергия в электронном пучке возрастала до 6-7 мДж, а длительность тока на полувысоте увеличивалась от 0,3 до 0,5 нс.

Такое поведение может быть связано со спецификой работы взрывоэмиссионных катодов в режиме генерации субнаносекундных

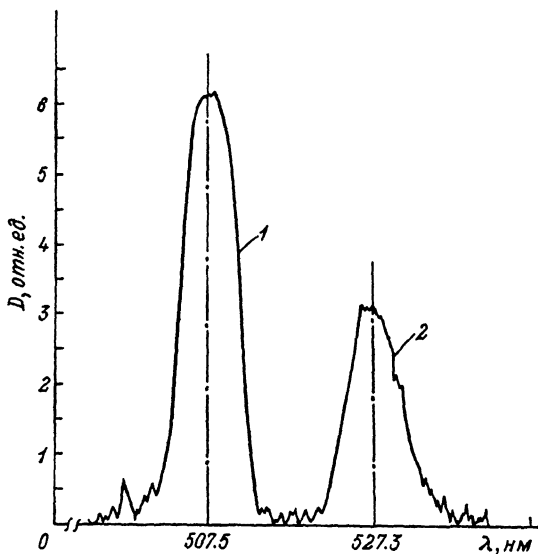


Рис. 2. Денситограммы спектра излучения кристалла  $CdS$ .

1 - кристалл при температуре жидкого азота, 2 - при комнатной температуре.

импульсов. Поскольку время образования вблизи катода сплошного плазменного слоя после взрыва микроострий в нашем случае больше времени формирования электронного пучка, то последний может состоять из отдельных токовых нитей. Их число будет соответствовать количеству взорванных микроострий, а плотность тока в них должна регулироваться законом „ $3/2$ “.

Для проверки этого положения на анодную алюминиевую фольгу наклеивались кристаллы  $CdS$  в виде мозаики с характерным поперечным размером кристаллов 0,5 мм. При использовании катода из стальных острий количество люминисцирующих кристаллов увеличивалось от 4 до 9 при изменении длины вакуумного промежутка. Высказанные соображения подтверждались также в аналогичном эксперименте с графитовым катодом. Раздельное свечение кристаллов удавалось фиксировать при межэлектродных расстояниях меньше 3,5 мм. В частности, при  $l \leq 1$  мм люминисцировали один-два кристалла, причем не обязательно одни и те же.

Учитывая вышесказанное, оценим ток и энергию электронного пучка. Ток электронов с  $n$ -острийного эмиттера найдем из соотношения [3]:

$$i = A n^{3/2} \sigma \tau_{\text{э}} l^{-1} n,$$

а энергию пучка электронов - из соотношения

$$k' = i \mathcal{E} \tau_{\omega},$$

где  $A = 3.7 \cdot 10^{-5} \text{ A/V}^{-3/2}$ ,  $\mathcal{U}$  - напряжение на электродах вакуумного диода,  $v = 2 \cdot 10^6 \text{ см/с}$  - скорость расширения анодной плазмы. Для наших значений  $\mathcal{U} = 2 \cdot 10^5 \text{ В}$ ,  $\mathcal{E} = 1.2 \cdot 10^5 \text{ эВ}$ ,  $\tau_{\omega} = 3 \cdot 10^{-10} \text{ с}$ ,  $l = 0.25 \text{ см}$  и  $n = 9$  находим  $W = 2 \text{ мДж}$ ,  $i = 60 \text{ А}$ ,  $j = 950 \text{ А/см}^2$  для стального острейного катода. Эти расчетные данные неплохо согласуются с экспериментальными результатами. Что касается графитового катода, то судя по энергии электронного пучка, можно предположить, что число эмиттирующих центров на его поверхности в 2-3 раза больше.

В заключение подчеркнем следующее. Показана возможность генерации субнаносекундных импульсов светового излучения в полупроводниковом кристалле, накачиваемом электронным пучком такой же длительности. Мощность и энергия излучения данного источника ограничиваются, в основном, низким коэффициентом передачи накопленной энергии в электронный пучок субнаносекундной длительности во взрывоэмиссионном вакуумном диоде.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] F i g n e r a J.F., S u t p l u m H.D. // Appl. Phys. Lett. 1974. V. 25. N 11. P. 661-663.
- [2] L a v i g n e P., G i l h e r t J., L a s h a m - b r e J.L. // Optic. Commun. 1975. N 2. P. 194-199.
- [3] К о в а л ь ч у к В.М., М е с я ц Г.А., Ш п а к В.Г. В кн.: Разработка и применение интенсивных электронных пучков / Под ред. Г.А. Месяца. Новосибирск: Наука, 1976. С.179-181.
- [4] У р б а з а е в М.Н. Катодоплюминесцентный источник излучения для оптической накачки лазеров. Препринт ИОА СО АН СССР. Томск, 1984, № 22. 18 с. Деп. № 6093-85 от 16.08.85.

Поступило в Редакцию  
25 марта 1991 г.