

- [4] Колесниченко Ю.Ф. В кн.: Тез. докл. Всес. семинара по высокочастотному пробую газов. Тарту: ТУ, 1989. с. 53.
- [5] Бровкин В.Г., Колесниченко Ю.Ф. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 3. С. 55-59.
- [6] Крауфорд Ф. Волны. М.: Наука, 1974. 527 с.
- [7] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 591 с.

Поступило в Редакцию
17 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 15

12 августа 1990 г.

05.2

© 1990

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР В КАЧЕСТВЕ МИШЕНЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ КОЛЛИМИРОВАННОГО ПУЧКА РЕНТГЕНОВСКИХ КВАНТОВ

Ю.И. Дудчик, Ф.Ф. Комаров,
М.А. Кумахов, Д.Г. Лобочкий,
В.С. Соловьев, В.С. Тишков

Многослойные структуры, состоящие из чередующихся слоев двух веществ с различными диэлектрическими проницаемостями, находят применение в рентгеновской технике. Известно [1], что они эффективно отражают излучение мягкого рентгеновского диапазона длин волн. В [2] предложено использовать многослойные структуры для транспортировки (фокусировки) жесткого рентгеновского и гамма-излучения. Предполагается, что излучение в этом случае будет распространяться вдоль структуры в волноводном режиме по "каналам" из материала с большим значением показателя преломления. В [3] рассмотрена возможность использования структур как мишеней для генерации переходного рентгеновского излучения. Естественно, что параметры структуры (толщина слоев, их количество, качество границ раздела и т.д.), необходимые для получения положительного эффекта, будут различны в каждом из указанных случаев.

В данном сообщении показана еще одна возможность использования многослойных структур в рентгеновской технике для генерации узкоколлимированных пучков тормозного и характеристического рентгеновского излучения. Ранее мы продемонстрировали работоспособность обсуждаемого источника излучения в [4]. При этом роль тормозной мишени играл рентгеновод, образованный плотно сжатыми полированными кремниевыми пластинами. Однако в [4] не

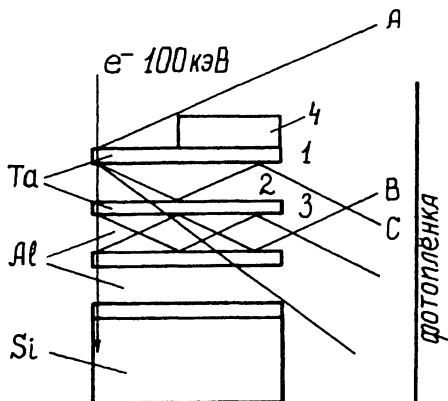


Рис. 1. Геометрия эксперимента.

конкретизирован механизм захвата излучения в волноводный режим распространения.

Пусть на многослойную структуру нормально к границе раздела слоев падает, как показано на рис. 1, пучок электронов с энергией $\sim 0,1-1 \text{ МэВ}$. Рассмотрим угловые зависимости выхода тормозного излучения $I(\theta)$, возникающего в слое из „тяжелого“ материала (с меньшим показателем преломления) и коэффициента отражения $R(\theta)$ фотонов от границы раздела двух сред при малых углах скольжения θ . Эти зависимости показаны на рис. 2. Излучение, выходящее из слоя „тяжелого“ материала 1, распространяется в среде слоя 2 из „легкого“ элемента, в основном, в направлении углов скольжения $\theta > \theta_K$, где θ_K – угол полного внешнего отражения. Выход рентгеновского излучения при углах $\theta < \theta_K$ невелик, а толщина слоя, в котором происходит генерация таких фотонов, зависит (как и глубина проникновения электромагнитных волн при полном внешнем отражении) от величины коэффициента поглощения излучения в материале этого слоя, а также от наличия поверхностных шероховатостей. Интенсивность отраженного границей раздела сред 2 и 3 излучения невелика при углах $\theta > \theta_K$, при $\theta < \theta_K$ коэффициент отражения близок к единице. Из вышеизложенного следует, что некоторая часть тормозного излучения (выходящая из слоя 1 (3) под углом $\theta < \theta_K$) может захватываться в волноводный режим распространения по каналу (слою) 2. При этом фотоны распространяются в направлении границы раздела сред, последовательно отражаясь от слоев 1 и 3, как показано на рис. 1. Фотоны, выходящие из слоя 1 (3) под углами $\theta > \theta_K$, эффективно поглощаются в материале слоя 1 (3), и при достаточной длине структуры выход излучения при этих углах будет подавлен.

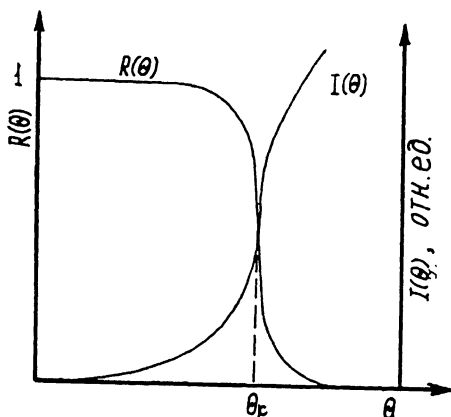


Рис. 2. Угловые зависимости коэффициента отражения $R(\theta)$ и выхода $I(\theta)$ рентгеновских и гамма-лучей от угла скольжения θ относительно границы раздела сред. θ_c — угол полного внешнего отражения фотонов.

Таким образом, в угловом распределении тормозного излучения, вышедшего из структуры, будет наблюдаться увеличение выхода фотонов в интервале углов скольжения $-\theta_c < \theta < \theta_c$ относительно границы раздела слоев. При этом слои „тяжелого“ материала играют роль тормозной мишени и образуют стенки рентгеновода, заполненного „легким“ материалом.

Как следует из вышесказанного, толщина слоя 1 (3) из „тяжелого“ материала должна быть достаточной для существования явления полного внешнего отражения, т.е. параметры предлагаемых мишеней близки к параметрам структур, предложенных в [2] для транспортировки излучения.

Реальная граница раздела слоев структуры не является совершенной. Это влияет, во-первых, на выход излучения в направлении углов $\theta < \theta_c$. Во-вторых, из литературы известно [5], что при отражении фотонов от шероховатой поверхности помимо зеркально отраженной под углами $\theta > \theta_c$ волны возможно появление аномально рассеянной под углами $\theta < \theta_c$ волны. Этот эффект (эффект Ионеды) наблюдался экспериментально и при отражении фотонов с энергией ~ 100 кэВ [6]. Благодаря ему возможно значительное усиление интенсивности излучения, захваченного в волноводный режим распространения.

Был проведен следующий эксперимент по регистрации углового распределения тормозного излучения, выходящего через торцевую часть многослойной структуры. Структура, изготовленная методом

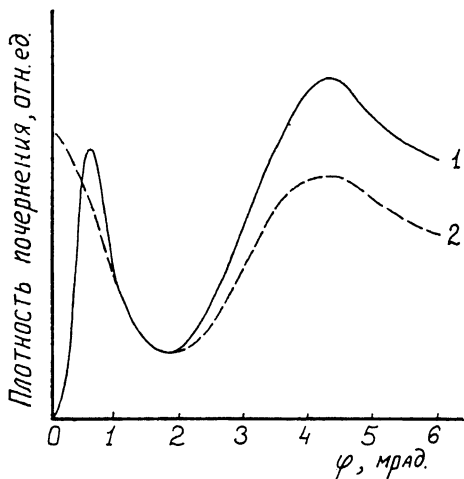


Рис. 3. Зависимость плотности почернения фотопленки от угла вылета фотонов, $\varphi = x/l$, x — расстояние на фотопленке вдоль оси, перпендикулярной слоям структуры, l — расстояние от места облучения до фотопленки. 1 — угловое распределение фотонов при наличии на структуре пластины из свинца, 2 — свинцовая пластина отсутствует.

ионно-плазменного нанесения слоев тантала и алюминия на подложку из кремния, облучалась электронным пучком с энергией 50–100 кэВ в камере электронографа. На расстоянии $l=20$ см от конца структуры и в плоскости, перпендикулярной ее поверхности, за алюминиевой фольгой была расположена фотопленка. Толщина слоев тантала составляла 30 нм, алюминия — 60 нм, подложки — 30 мкм, число пар слоев — 250. Расстояние от места облучения до торца мишени $l_1=0.5$ см. Результаты фотометрирования фотопленки приведены на рис. 3. Здесь угол φ определяется из соотношения $\varphi = x/l$, где x — расстояние на фотопленке вдоль направления, перпендикулярного поверхности мишени. Кривая 1 соответствует случаю, когда на верхний слой структуры и вплотную к ней помещалась свинцовая пластинка 4, которая поглощала пучок А (рис. 1), выходящий через верхний слой структуры. Из рис. 3 видно, что в области углов ~ 1 мрад и 4 мрад наблюдаются максимумы (кривая 1), наличие которых, по нашему мнению, связано с выходом пучков В и С через торцевую часть структуры, как показано на рис. 1. Вид углового распределения тормозного излучения для случая отсутствия свинцового поглотителя 4 на верхнем слое структуры показан кривой 2 на рис. 3. Отсутствие пика в области углов $\varphi \approx 1$ мрад на данной кривой может быть связано с невозможностью

зарегистрировать разделение пучков А и В при данных условиях эксперимента.

Полученные результаты, по нашему мнению, свидетельствуют о возможности захвата тормозного излучения в волноводный режим распространения и построения источников острогофокусированного рентгеновского излучения на предложенных выше принципах.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Рентгеновская оптика. Труды ФИАН СССР. Т. 196. М.; Наука, 1989. 182 с.
- [2] Комаров Ф.Ф., Кумахов М.А. // Поверхность. Физ., хим., мех. 1986. № 3. С. 5-12.
- [3] Low S.T., Kaplan A.E. // Opt. Lett. 1987. V. 12. N 11. P. 900-905.
- [4] Дудчик Ю.И., Комаров Ф.Ф., Соловьев В.С., Тишков В.С. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 1. С. 57-61.
- [5] Виноградов А.В., Зорев Н.Н., Кожевников И.В., Якушкин И.Г. // ЖЭТФ. 1985. Т. 6. В. 12. С. 2124-2132.
- [6] Глебов В.И., Денисов Э.И., Жеваго Н.К. и др. // ЖТФ. 1985. Т. 55. В. 9. С. 1785-1792.

Поступило в Редакцию
2 мая 1990 г.