

УДК 621.384.6(088.8)

Многопучковый ускоритель для комплексного облучения

АУСЛЕНДЕР В. Л., БАРАНОВ И. А., ЛАЗАРЕВ В. Н., ОБНОРСКИЙ В. В., ПАНФИЛОВ А. Д., ПОЛЯКОВ В. А.,
РОМАШКО Н. Д., ТРОФИМЕНКО С. М., ШИЛОВ В. П., ЭЙСМОНТ В. П.

Ускорители заряженных частиц все шире используются не только в исследовательских целях, но и в народном хозяйстве. Часто для придания необходимых качеств материалам или для создания приборов (например, в полупроводниковой технологии) используют облучение не одним, а несколькими видами излучений различного энергетического диапазона. Это достигается заменой

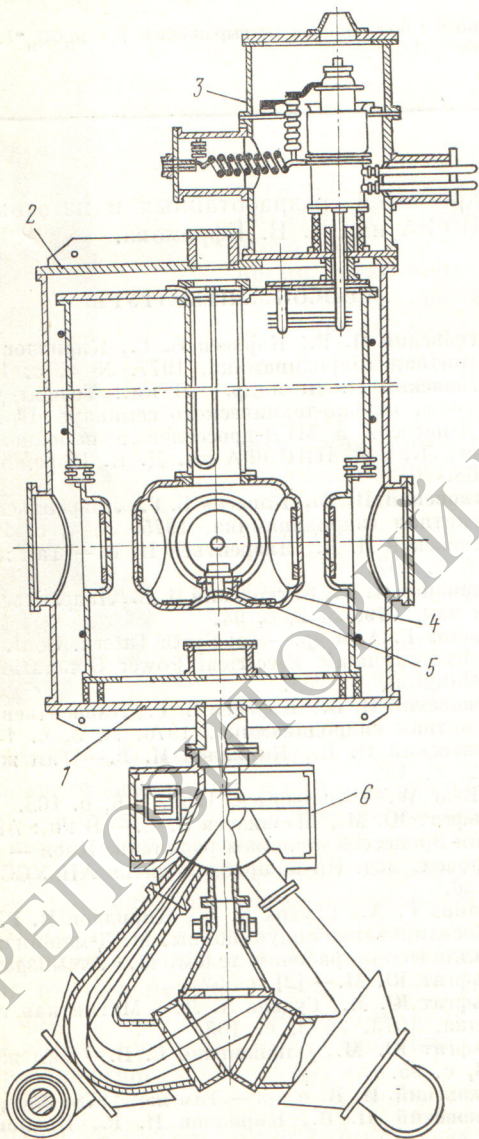
ионных источников на одном ускорителе, либо использованием нескольких ускорителей.

Создание многопучковых ускорителей существенно упростило бы эти задачи, особенно, если учесть, что в будущем необходимость в комплексном облучении материалов будет возрастать. Следует отметить также, что преобладающая часть промышленных установок рассчитана на энергию 50—300 кэВ. Однако для широкого класса научно-технических и прикладных задач необходимы ускорители с энергией, по крайней мере, на порядок большей. Наконец, особо нужно отметить, что уже в настоящее время как в промышленности, так и при проведении различных научных исследований (например, при ионном легировании, при получении новых многокомпонентных материалов, при изучении радиационной стойкости первой стенки термоядерного реактора) возникает необходимость одновременного воздействия на объекты заряженными частицами различного типа, а также нейтронами и γ -излучением.

Изучение синергического эффекта интегрально-го воздействия различных видов излучений на объект представляет самостоятельный научный интерес, а реальная возможность проведения таких облучений придает исследованиям и технологическим разработкам качественно новый характер. С этой целью в настоящее время строятся [1] и уже используются [2] комплексы, состоящие из двух или большего числа ускорителей.

В настоящей работе описывается импульсный линейный ускоритель, позволяющий выводить одновременно несколько ионных и электронных пучков энергией $\sim 1,5$ МэВ/заряд и таким образом создавать совмещенные поля различных заряженных частиц, а также γ - и нейтронного излучений.

Конструкция и параметры ускорителя. В Институте ядерной физики СО АН СССР разработан протонно-ионный синхротрон для ядерно-физических и радиационных исследований [3]. Сооружаемый на его основе ускорительный комплекс Радиового института им. В. Г. Хлопина описан в работе [4]. В качестве инжектора синхротрона используется импульсный линейный ускоритель (ИЛУ), обеспечивающий получение ионов энергией до $\sim 1,5$ МэВ/заряд [5]. На его основе разработан ускоритель, позволяющий получить наряду с ионным пучком один или несколько электронных пучков [6, 7]. С целью дальнейшего расширения возможностей прикладного использования данного ускорителя был предложен и в настоящее время сооружается инжектор с двумя независимыми



Общий вид многопучкового ускорителя: 1 — вакуумно-плотный корпус; 2 — объемный резонатор; 3 — импульсный высокочастотный генератор; 4 — дрейфовые трубки; 5 — катодно-сеточный узел электронной пушки; 6 — квазикольцевая развертка электронного пучка

каналами ускорения ионов [8]. Этот вариант имеет большой самостоятельный интерес, поскольку может использоваться как ускоритель для радиационных исследований в комплексных полях излучений.

Основой описываемого ускорителя (см. рисунок) является объемный резонатор, образованный укороченной четвертьволновой коаксиальной линией, которая возбуждается волной типа ТЕМ на частоте 30 МГц от импульсного высокочастотного генератора, расположенного непосредственно на резонаторе. Диаметр внешней обечайки резонатора 840, высота 1640 мм. Резонатор помещен в вакуумплотный корпус из нержавеющей стали. Его коаксиальная линия нагружена емкостью двух дрейфовых трубок, представляющих собой единую конструкцию, установленную на внутренней трубе резонатора. Оси дрейфовых трубок взаимно перпендикулярны, направлены по диаметру резонатора и лежат в одной плоскости. Использование двух дрейфовых трубок позволяет получить два пучка ускоренных ионов различного типа.

Кроме двух ионных пучков на ускорителе можно одновременно получить ускоренный электронный пучок. Катодный или катодно-сеточный узел электронной пушки помещен по оси резонатора в нижней части дрейфовых трубок. Для равномерного облучения электронами цилиндрических образцов ускоритель снабжен квазиколецевой разверткой, аналогичной описанной в работе [9]. Основные параметры пучков ускорителя приведены ниже.

Число каналов ускорения:	
ионов	2
электронов	1
Энергия ускоренных протонов	0,3—1,5 МэВ
Средний ток ускоренных протонов	0,1 мА
Полуширина энергетического спектра протонов энергией 1,5 МэВ	50 кэВ
Энергия ускоренных ионов с зарядом Z	$(0,3 \div 1,5) Z$ МэВ
Средний ток ускоренных ионов	до 0,1 мА
Энергия ускоренных электронов	0,15—1,2 МэВ
Средняя мощность электронного пучка (при энергии 0,7 МэВ)	10—12 кВт
Разброс энергии в электронном пучке (при средней мощности пучка 5—6 кВт)	$\pm 10\%$
Диаметр пучков на выходе из ускорителя	1,0 см
Длительность импульсов тока	1—300 мкс
Частота повторения импульсов	50 Гц
Общая потребляемая от сети мощность	50 кВт
Расход охлаждающей дистиллированной воды при давлении 3 атм. (1 атм. = 101 325 Па)	50 л/мин

В настоящее время с целью одновременного облучения объекта различными заряженными частицами проводится конструкторская разработка варианта размещения электронной пушки на дрейфовой трубке по ее оси, позволяющего получить совмещенный электронно-ионный пучок. Следует отметить, что значения энергии различных заряженных частиц, ускоряемых одновременно, хотя и могут меняться в некоторых пределах, между собой жестко связаны, что является определенным ограничением при использовании ускорителя в такого рода исследованиях. Предполагается провести разработку системы независимого регулирования энергии пучков при одновременном их выведении из ИЛУ.

Перспективы использования ускорителя. Очевидно, в полной мере значение многопучковых ускорителей оценится тогда, когда они станут доступными потребителям. Сейчас же мы ограничимся лишь несколькими примерами их возможного применения.

В ближайшие годы будут широко проводиться исследования по выбору материалов для термоядерных реакторов. Известно, что первая стенка термоядерного реактора подвергнется одновременному облучению различными ионами, быстрыми нейтронами, электронами и электромагнитным излучением. Можно ожидать, что процессы, происходящие в кристаллическом материале при одновременном его облучении различными видами излучений, будут отличаться от таковых при последовательном облучении [2, 10].

Ускоритель для комплексных облучений можно также использовать для изготовления полупроводниковых приборов с $p-n-p$ - и $n-p-n$ -переходами, когда для создания переходов необходимы ионы двух типов с акцепторными и донорными свойствами (например, бор и фосфор), а для регулировки времени жизни неосновных носителей заряда и их подвижности (или для создания тонких аморфизированных слоев) требуется дополнительное облучение протонами, α -частицами и электронами [11, 12]. Применение описываемого многопучкового ускорителя позволит не только быстро изготавливать приборы, но и отказаться в некоторых случаях ввиду более высокой энергии ионов от термодиффузии как способа имплантации ионов в глубокие слои материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков М. Т., Цыгикало А. А. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Общая и ядерная физика, 1978, вып. 3 (3), с. 71.
2. Das S. e.a. — Paper Presented at the Intern. Conf. on Low Energy Ion Beams. Salford, 5—8 Sept. 1977.
3. Абдульманов В. Г. и др. — В кн.: Труды X Международной конф. по ускорителям заряженных частиц высоких энергий. Серпухов, 1977, т. 1, с. 345.
4. Ауслендер В. Л. и др. Препринт Радиового института РИ-56, Л., 1976.

5. Абдульманов В. Г. и др. Препринт ИЯФ СО АН СССР 78-25. Новосибирск, 1978.
7. Ауслендер В. Л. и др. Авт. свид. № 641 851. Бюлл. изобрет., 1980, № 3, с. 276.
7. Ауслендер В. Л. и др. — В кн.: Докл. III Всесоюз. совещания по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве. Ленинград, 26—28 июля, 1979, т. 1, с. 114.
8. Ауслендер В. Л. и др. — Авт. свид. № 720 838. Бюлл. изобрет., 1980, № 9, с. 305.

9. Ауслендер В. Л. и др. — [7], с. 126.
10. Гусева М. И., Ионов Е. С., Мартыненко Ю. В. — Атомная энергия, 1980, т. 48, вып. 3, с. 162.
11. Зорин Е. И., Павлов П. В., Тетельбаум Д. И. Ионное легирование полупроводников. М., Энергия, 1975.
12. Намба С. Технология ионного легирования. М., Советское радио, 1974.

Поступила в Редакцию 29.10.80

УДК 535.377

Накопление светосуммы в термолюминесцентных детекторах

ВЛАСОВ В. К., КАРПОВ Н. А., ТАРАСОВ М. Ю.

Несмотря на широкое применение термолюминесцентных детекторов (ТЛД) в практической дозиметрии, некоторые теоретические вопросы недостаточно разработаны. К числу наиболее важных проблем относится построение теоретической модели накопления светосуммы в ТЛД, способной количественно описывать экспериментальные данные.

Существующие модели накопления светосуммы в ТЛД в ряде случаев позволяют качественно объяснить экспериментальные дозные зависимости [1—6]. Однако ни одна из моделей не описывает количественно все экспериментально найденные кинетические закономерности накопления светосуммы в ТЛД (рис. 1).

Предлагаемая нами модель позволяет качественно объяснить и количественно описать существующие дозные зависимости. Прежде чем рассматривать зависимость доза — эффект, необходимо рассмотреть связь качества излучения с наблюдаемым эффектом.

Зависимость эффективности накопления светосуммы ТЛД от качества излучения. Модель накопления светосуммы в ТЛД может быть рассмотрена в рамках теории мишени как вариант метода

присоединенных объемов [7, 8]. В основе предлагаемой модели лежат следующие условия:

концентрация радиационно-чувствительных элементов N (предцентров и центров люминесценции, ловушек носителей заряда), случайным образом распределенных в матрице ТЛД, много меньше концентрации атомов основы N_a :

$$N \ll N_a;$$

поглощение энергии излучения происходит дискретно в микрообъемах ΔV со средним линейным размером l ;

размер радиационно-чувствительного элемента r много меньше размера микрообъема l :

$$r \ll l;$$

локально поглощенная в пределах ΔV энергия z определяется как среднее значение \overline{L} (L — ЛПЭ):

$$z = \overline{L};$$

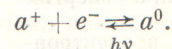
среднее значение энергии первичной ионизации ε_0 зависит не от ЛПЭ, а только от свойств матрицы; энергия ионизации радиационно-чувствительных элементов много меньше z и ε_0 ;

элементарные акты радиационного воздействия на радиационно-чувствительные центры в ТЛД представлены схемами:

ионизация предцентра люминесценции и его рекомбинация при действии излучения



заполнение вакантной ловушки электроном и радиационное высвечивание



Вероятность ионизации предцентра люминесценции и захват ловушкой носителя заряда в описанной модели определяется как вероятность совмещения в пределах ΔV акта ионизации и существования свободного радиационно-чувствительного элемента $W(L, n_0 - n)$. Аналогично определяется и вероятность радиационного опустошения ловушек $W(L, n)$:

$$W(L, n_0 - n) = W(L) W(n_0 - n); \quad (1)$$

$$W(L, n) = W(L) W(n), \quad (2)$$

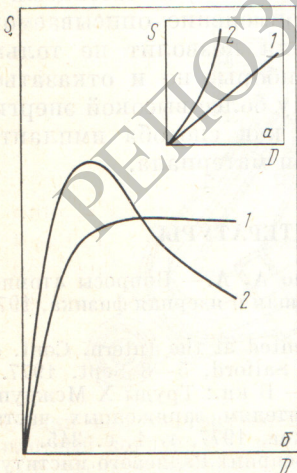


Рис. 1. Характерные дозные зависимости накопления светосуммы в ТЛД: a — накопление светосуммы на начальном участке (1 — линейный рост; 2 — сверхлинейный рост); b — характерные дозные зависимости (1 — равновесное состояние; 2 — максимум эффекта)