

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ СЛОИСТЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

Б.В. Бори, И.Г. Марченко, П.Н. Бездверный

Национальный научный центр

«Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина

Проведено компьютерное моделирование прохождения электронов через слоистый композиционный материал, соединенный в твердой фазе и состоящий из слоев тяжелого и легкого металлов, чередующихся в разных последовательностях. Изучены различия спектров прошедших гамма-квантов через слоистый композиционный материал по сравнению со спектром, полученным после моделирования прохождения электронов через однородный материал.

ВВЕДЕНИЕ

В околоземном и межпланетном пространстве материалы и элементы оборудования космических аппаратов (КА) подвергаются воздействию разнообразных факторов космической среды, в частности, корпускулярных потоков различного происхождения. Радиационные условия на борту КА зависят от расположения его орбиты относительно радиационных поясов Земли. Максимальная поглощенная доза излучения приходится на внешнюю поверхность КА [1,2]. Наиболее подвержены радиационному воздействию полупроводниковые и диэлектрические материалы.

При исследованиях влияния корпускулярного излучения на физико-химические свойства материалов выделяют два типа основных воздействий [3]. Первый - определяется ионизационными процессами, второй – структурными нарушениями материалов. Ионизационные явления зависят от мощности дозы излучения и исчезают с различным временем релаксации при выходе КА из радиационного пояса Земли. Нарушение структуры материала определяется дозой и энергетическим спектром излучения.

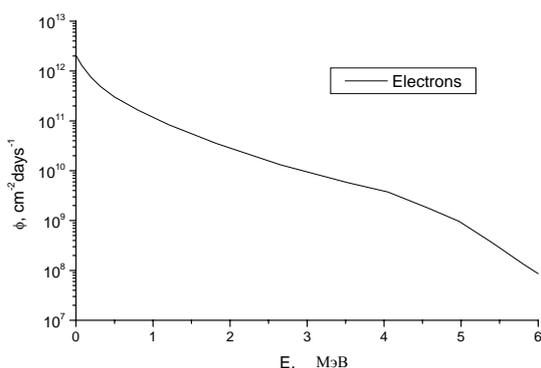


Рис.1. Энергетический спектр электронов [2]

Электроны являются одной из составляющих солнечного ветра, космических и галактических лучей. Энергетический спектр электронов, рассчитанный для высокой относительно радиационных поясов Земли орбиты искусственного спутника, приведен на рис. 1 [2]. При энергии электронов 2 МэВ плотность их потока падает более

чем на два порядка. В то же время проникающая способность таких частиц существенно увеличивается в результате образования электрон-позитронных пар [3,4]. Образование в ливнях гамма-квантов приводит к большой проникающей способности такого излучения и негативного воздействия на электронные приборы. Для защиты микрочипов космических аппаратов необходимы защитные слои, обладающие высокой поглощающей способностью и малым удельным весом. Одним из возможных вариантов решения проблемы является создание многослойных композиционных защитных слоев, соединенных в твердой фазе.

В последнее десятилетие для исследования сложных физических процессов наряду с экспериментальными методами широкое распространение получили методы компьютерного моделирования [5]. Одним из широко используемых является метод Монте-Карло. С его помощью были получены достоверные результаты по поглощению нейтронов, прохождению высокоэнергетических частиц через вещество и пр. [6,7,8].

Целью данной работы является исследование методом компьютерного моделирования защитных свойств композиционного материала, состоящего из различных металлов, получаемого методом горячей прокатки в вакууме и позволяющего при одновременном уменьшении веса повысить защитные свойства материала от корпускулярных потоков различного космического происхождения. Особенность данного метода позволяет получать композиционный материал с высокими физико-механическими свойствами, с возможностью последующей деформации композита без разрушения слоев.

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделирование характеристик композитного материала проводилось в программном пакете PENELOPE [9].

Этот пакет выполняет моделирование электрон-фотонного транспорта методом Монте-Карло в большом диапазоне энергий, в произвольном материале, от нескольких сотен электронвольт до энергий порядка 1 ГэВ.

Метод Монте-Карло - метод численного моделирования событий, таких как рассеяние или

поглощение частиц, позволяет с высокой степенью достоверности получать результаты о прохождении частиц сквозь вещество.

Пакет для создания геометрии, называемый PENGEOM, позволяет генерацию электрон-фотонных ливней, в произвольных однородных материалах, ограниченных поверхностями: площадями, сферами, цилиндрами и т.д.

В данной работе получено энергетическое распределение прошедших электронов и генерированных ими гамма-квантов через слоистый материал. В качестве модельного материала был выбран один из самых легких конструкционных материалов Al и один из самых высокоэффективных тяжелых защитных материалов W. Сборка представляет собой пакет из двух видов металлов: Al и W (толщиной 1 мм каждый), соединенных между собой в твердой фазе методом горячей прокатки в вакууме. Полученный композиционный материал облучался электронами с энергией 2 МэВ. Исследовался энергетический спектр гамма-квантов в зависимости от очередности слоев легкого и тяжелого металлов.

Вначале было проведено моделирование прохождения электронов через мишень, в которой первым материалом по отношению к падающим электронам был W, а вторым - Al (рис. 2).

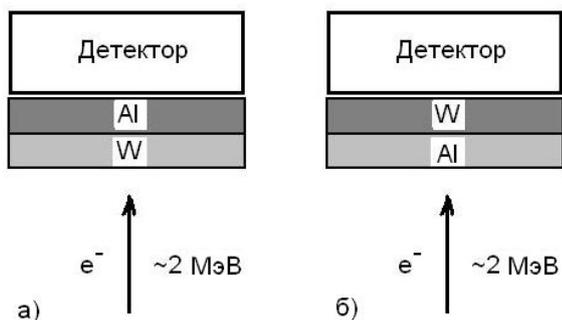


Рис. 2. Общая геометрия:
а - прямое расположение слоев; б - инверсное расположение слоев

Вторым этапом моделирования был расчет прохождения электронов через мишень с инверсным по отношению к первоначальному опыту расположением слоев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 3 показан энергетический спектр прошедших через слоистый материал гамма-квантов. Видно, что во всем диапазоне энергий плотность вероятности прошедших гамма-квантов в композите W-Al больше, чем в Al-W. По-видимому, это можно объяснить тем, что при торможении в первом слое тяжелого металла электроны рождают более высокоэнергетические гамма-кванты, которые проходят всю толщину композита и попадают в детектор. Если же первый материал - легкий металл, то электроны при прохождении теряют энергию больше на образование пар, чем на комптоновское рассеяние, что приводит к образованию менее энергетических гамма-квантов.

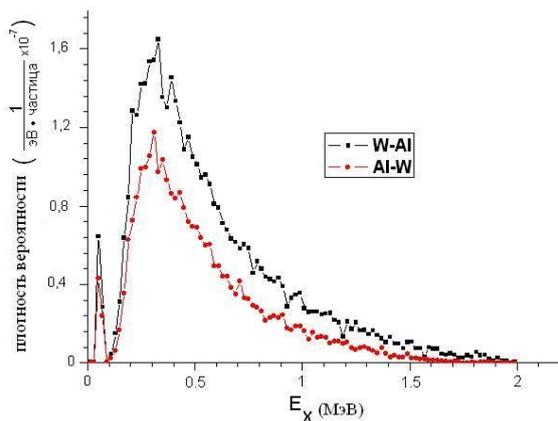


Рис. 3. Энергетическое распределение прошедших гамма-квантов

Для сравнения эффективности защитных свойств слоистых материалов был рассчитан спектр гамма-квантов, прошедших через свинцовую пластину той же толщины, что и вся сборка (2 мм). Как видно на рис. 4, плотность вероятности гамма-квантов, прошедших через свинцовую пластину, больше, чем при прохождении сборки AL-W. Из этого следует, что свинцовая пластина уступает композитному материалу в защитных свойствах.

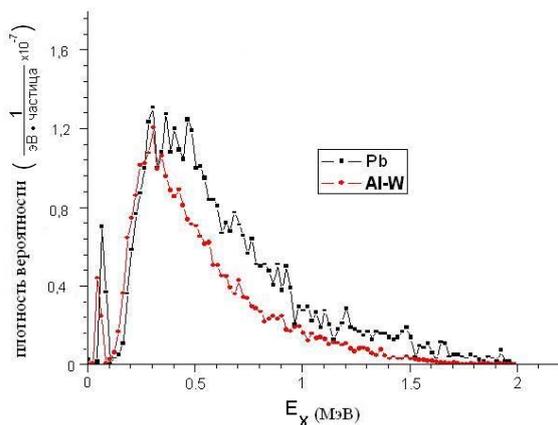


Рис. 4. Энергетическое распределение прошедших гамма-квантов

Таким образом, видно, что количество прошедших гамма-квантов, образующихся вследствие облучения материала электронами, существенно зависит от последовательности чередования слоев тяжелого и легкого металлов.

Полученные результаты дают веские доводы для использования слоистых материалов в качестве защиты электронных приборов в условиях космического облучения. Использование вместо монолитной пластины тяжелого металла слоистого материала, состоящего из составленных в определенной последовательности слоев легких и тяжелых металлов, позволяет, не ухудшая защитные свойства, значительно снизить вес изделия, что очень существенно для использования в космической технике.

Для создания эффективных защитных слоистых материалов необходимо проводить работы по

оптимизации защитных свойств в зависимости от состава, толщины и последовательности слоев.

ВЫВОДЫ

С помощью программного пакета PENELOPE методом Монте-Карло было проведено компьютерное моделирование прохождения электронов с энергией 2 МэВ через композиционный материал, представляющий собой набор из двух пластин разных металлов. Изучен спектр прошедших гамма-квантов, который существенно меняется в зависимости от последовательности тяжелый-легкий металл. Установлено, что плотность вероятности прохождения гамма-квантов для случая тяжелый-легкий металл больше во всем энергетическом диапазоне прошедших гамма-квантов, чем при последовательности легкий-тяжелый металл.

Проведено сравнение спектров прошедших гамма-квантов слоистого материала (легкий-тяжелый) со спектром прошедших гамма-квантов, полученных при моделировании облучения электронами пластины из свинца такой же толщины, как и весь композит (2 мм). Установлено, что плотность вероятности прошедших гамма-квантов во всем диапазоне энергий также превышает плотность вероятности прошедших гамма-квантов при облучении электронами слоистого материала (легкий-тяжелый).

Сделан вывод о необходимости дальнейшего исследования свойств слоистого материала при облучении его частицами различной энергии. Сделано предположение о возможности конструировать эффективную защиту от гамма-квантов любых энергий с помощью слоистого

материала из набора различных металлов, соединенных между собой в твердой фазе.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.И. Панасюк. Формирование потоков энергичных ионов на геостационарной орбите // *Космические исследования*. 1982, т. 20, в. 2, с. 277-288.
2. Дж. Адамс, Дж. Ли, В.И. Зацепин, М.И. Панасюк, Н.В. Сокольская. Спектр всех частиц первичных космических лучей: данные эксперимента ТИК // *Изв. РАН, сер. физич.*, 1997, т. 61, № 6, с. 1181-1185.
3. А.И. Акишин, И.Б. Теплов. Имитация воздействия космических излучений на материалы // *Физика и химия обработки материалов*. 1992, № 6, с. 47-57.
4. И.М. Неклюдов, Б.В. Борц, В.В. Ганн, Г.Д. Толстоуцкая. Методология имитации радиационных повреждений фотопреобразователей солнечных батарей с помощью ускорителей электронов и протонов // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2003, в. 3, с. 62-65.
5. Н.Г. Гусев, В.А. Климанов, В.П. Машкович, А.П. Суворов. *Защита от ионизирующих излучений*. М.: «Энергоатомиздат», 1989.
6. Х. Гулд, Я. Тобочник. *Компьютерное моделирование в физике*. М.: «Мир», 1990.
7. N. Metropolis, S. Ulam, The Monte Carlo Method // *J. Amer. statistical assoc.* 1949, v. 44, № 247, p. 335—341.
8. W.M.C. Foulkes, L. Mitas, R.J. Needs and G. Rajagopal. Quantum Monte Carlo simulations of solids // *Reviews of Modern Physics*. 2001, v. 73, p. 33.
9. <http://www.nea.fr/html/welcome.html>

Статья поступила в редакцию 30.04.2009 г.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОХОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОНІВ КРІЗЬ ШАРУВАТИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ

Б.В. Борц, І.Г. Марченко, П.Н. Бездверний

Проведено комп'ютерне моделювання проходження електронів крізь шаруватий матеріал, що складається з прошарків важкого і легкого металів, які скріплені у різній послідовності. Досліджені відмінності спектрів гамма-квантів, що пройшли крізь шаруватий матеріал у порівнянні за спектром, що був отриман при моделюванні проходження електронів крізь однорідний матеріал.

SIMULATION OF ELECTRON TRANSPORT THROUGH THE STRATIFIED COMPOSITE MATERIAL

B.V. Borts, I.G. Marchenko, P.N. Bezdvorniy

The computer simulation of electron transport is conducted through the stratified material consisting of layers of heavy and light metals, alternated in different sequences. Distinctions of spectrums of the transmitted gamma are studied through the stratified material as compared to a spectrum, got after the simulation of electron transmissions through homogeneous material.