

This will allow to use additional, available and cheap raw materials used in leather and footwear industry and other spheres of national economy.

УДК 004: 539.1

**ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ
ЛИТОГРАФИИ И РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ПО
РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТОДОМ
МОНТЕ-КАРЛО**

А.С. Ковчур, А.В. Леонтьев, О.В. Минченкова
*учреждение образования «Белорусский
государственный университет»*

Перспективы дальнейшего совершенствования технологии изготовления СБИС и УБИС во многом связаны с разработкой новых методов формирования изображения [1,2]. Ионно-лучевая и электронная литографии весьма перспективны в этом плане и их разработка ведется в ряде международных проектов [2]. Компьютерное моделирование позволяет существенно снизить затраты на внедрение названных методов литографии в производство. В настоящей работе рассмотрено применение пакета программ CASINO v.2.41 (разработка авторской группы D.Drouin and all, Universite de Sherbrooke, Quebec, Canada) к решению типичных задач электронно-лучевой литографии. Отметим, что данный программный пакет может быть с успехом использован в лабораторных работах по курсам, связанным с радиационной безопасностью, так как учитывает возникновение вторичного рентгеновского излучения, вызванного торможением быстрых электронов в веществе.

Метод электронно-лучевой литографии (ЭЛЛ) характеризуется высокой разрешающей способностью. Эффекты дифракции, ограничивающие разрешающую способность, пренебрежимо малы. Другим преимуществом ЭЛЛ является большая глубина резкости передаваемого изображения. Поэтому практически не происходит искажения рисунка микросхемы при увеличении глубины рельефа многослойных структур и неплоскостности поверхности пластины. Окончательные размеры изображения связаны с процессами рассеяния электронов. Существует три основные области применения ЭЛЛ: в технологии производства эталонных фотошаблонов и промежуточных фотооригиналов, в производстве высокоточных фотошаблонов для рентгено- и фотолитографии глубокого ультрафиолета, для производства СБИС с субмикронными размерами элементов.

Программный комплекс CASINO реализует метод Монте-Карло численного моделирования процесса экспонирования вещества пучком электронов.

Данная программа позволяет строить траектории первичных и вторичных электронов в веществе, при выборе и варьировании множества параметров, играющих важную роль при экспонировании (ниже в скобках указано число способов задания).

- Физическая модель: общее сечение рассеяния (4), дифференциальное сечение рассеяния (4), эффективное сечение рассеяния (6), потенциал ионизации (3), генератор случайных чисел (2), направляющий косинус (2), калькулятор для расчета потери энергии на торможение.
- Программа дает возможность моделировать полиэнергетическое облучение многослойных структур различного состава; позволяет моделировать сканирование электронным лучом в указанном диапазоне с заданным шагом для создания рисунка; пользователем задается количество сканирующих электронов и радиус луча, угол падения луча (отсчитывается от нормали к по-

верхности подложки), количество отображаемых траекторий электронов, промежутков времени между экспозициями.

- Положение детектора для регистрации рентгеновского излучения, параметры для генератора рентгеновского излучения, фактора безопасности, радиуса действия экспонирующего луча (4).
- Параметры для построения распределений: глубины максимального проникновения электронов, энергии обратно рассеянных электронов, энергии прошедших электронов (для тонких плёнок), поверхностного радиуса обратно рассеянных электронов.

Следует отметить, что все представленные в работе зависимости, расчеты и траектории моделировались однократно, что приводит непременно к некоторым погрешностям относительно статистических результатов, особенно при вычислении коэффициента обратного рассеяния. При моделировании всех представленных траекторий и распределений использовались следующие параметры: радиус электронного луча 10 нм, число сканирующих и отображаемых траекторий 2000, угол падения луча 0° , промежуток времени между экспозициями 5 минут, минимальная энергия электронов 0,05 кэВ. Детектор γ -излучения расположен под углом 0° к плоскости мишени. Примеры траекторий электронов в мишенях при энергии пучка электронов $E=5$ кэВ представлены на рис.1.

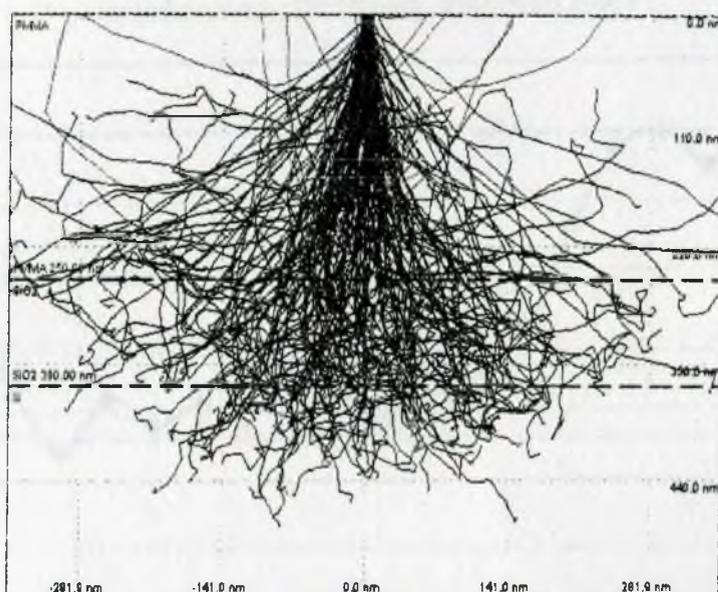


Рисунок 1 - Мишень: PMMA(250 нм)/SiO₂(100 нм)/Si. КНОЭ=0,065.

Поскольку большое значение имеет зависимость коэффициента обратного рассеяния от атомного номера мишени Z , то целесообразно просчитать эту зависимость. Ниже представлены зависимости коэффициента обратного рассеяния электронов с $E=5$ кэВ от атомного номера мишени.

Зависимость КНОЭ от энергии первичных электронов различна для лёгких и тяжелых элементов, однако в диапазоне энергий от 2 до 50 кэВ КНОЭ для всех веществ почти не меняется с ростом энергии первичных электронов. Поэтому на практике часто пренебрегают влиянием E на значения КНОЭ по сравнению со значительно более сильным влиянием Z , хотя, как видно из рис.3 в ряде случаев такой подход может привести к существенным ошибкам.

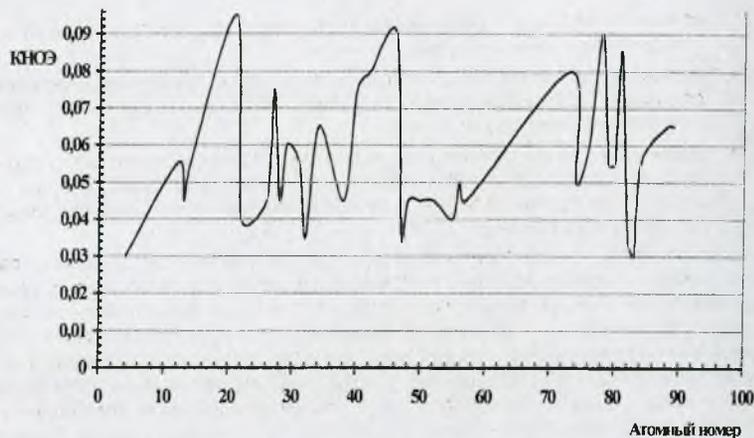


Рисунок 2 - Зависимость KNOЭ от атомного номера при E=5 кэВ.

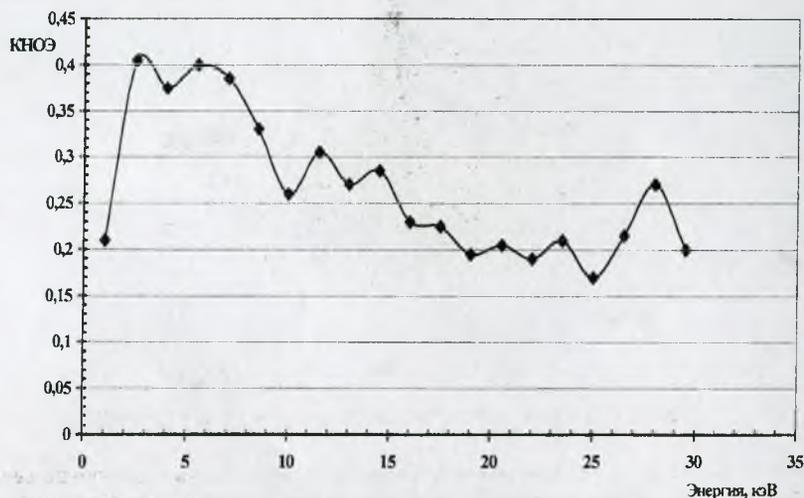


Рисунок 3 - Зависимость KNOЭ от энергии пучка для Au.

При возбуждении электронами атомов твердого тела энергия может либо передаваться другим электронам посредством оже-процесса, либо выделяться в виде характеристических фотонов (рентгеновская флуоресценция). Характерное распределение интенсивности рентгеновской флуоресценции представлено на рис.4. С увеличением энергии первичных электронов интенсивность рентгеновского излучения возрастает.

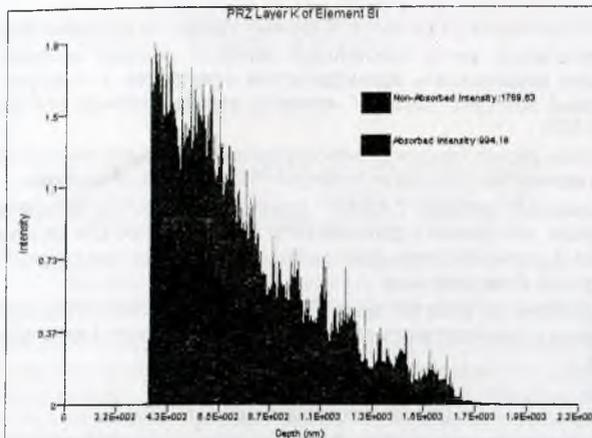


Рисунок 4 - Распределение интенсивности рентгеновского излучения для Si с К-подоболочки. $E=15$ кэВ. $KNO3=0,435$.

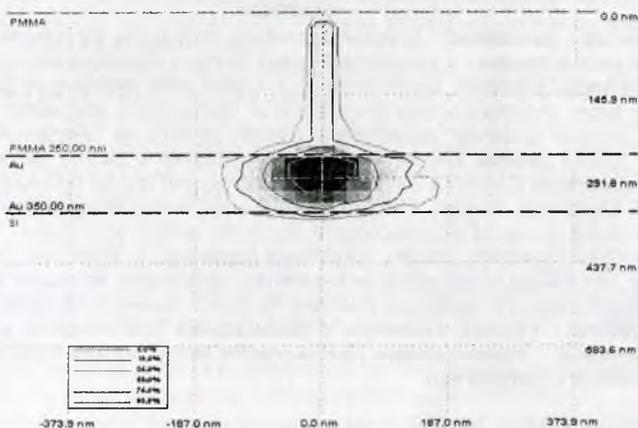


Рисунок 5 - Распределение энергии в мишени, выделенной электронами с энергией $E=10$ кэВ. Мишень: PMMA(250 нм)/Au(100 нм)/Si. $KNO3=0,389$.

При создании рисунка задается область сканирование резиста в заданном диапазоне. Здесь требуется учитывать эффекты близости: зависимость $KNO3$ от позиции луча; пространственное распределение энергии, выделенной в резисте и подложке (рис.5); спектр энергии, выделенной обратно рассеянными электронами; зависимость интенсивности рентгеновского излучения с подоболочек атомов от позиции сканирующего луча.

Результаты проведенных расчетов позволяют сделать следующие выводы.

1. Статистический метод Монте-Карло является мощным инструментом, позволяющим моделировать взаимодействие электронов с твердым телом. Программный комплекс "CASINO" является весьма удобным для моделирования задач ЭЛЛ.
2. Выполнен расчет коэффициента неупругого отражения электронов для практически важных многослойных структур – ПММА/Металл/Подложка.
3. Программный комплекс "CASINO" можно использовать в лабораторных работах по курсам, связанным с радиационной безопасностью для решения задач связанных с возникновением рентгеновского излучения при торможении быстрых электронов в твердом теле.
4. Разработаны на русском языке инструкция по пользованию данным пакетом программ и руководство по решению прикладных задач радиационной безопасности.

Список использованных источников.

1. Katherine Derbyshire. Solid State Technology // Issues in advanced lithography. May, 1997 -p.133-138.
2. G.Gross, R.Kaesmaier / Ion projection lithography: Status of the MEDEA project and United States/European cooperation // J.Vac.Sci. Technol. B 16(6), 1998.- P.3150-3153.

Аннотация

Перспективы дальнейшего совершенствования технологии изготовления СБИС и УБИС во многом связаны с разработкой новых методов формирования изображения. К таким методом относятся ионно-лучевая и электронная литография. Для решения типичных задач электронно-лучевой литографии применяется компьютерное моделирование, которое позволяет существенно снизить затраты на внедрение названных методов. Среди пакетов компьютерного моделирования в работе рассмотрен программный комплекс CASINO v.2.41 (разработка авторской группы D.Drouin and all, Universite de Sherbrooke, Quebec, Canada), реализующий метод Монте-Карло численного моделирования процесса экспонирования вещества пучком электронов. Рассмотренная программа позволяет строить траектории первичных и вторичных электронов в веществе, при выборе и варьировании множества параметров, играющих важную роль при экспонировании. Программный комплекс "CASINO" можно использовать в лабораторных работах по курсам, связанным с радиационной безопасностью для решения задач связанных с возникновением рентгеновского излучения при торможении быстрых электронов в твердом теле.

Summary

The prospects of the further perfection of technology of manufacturing SBIS and UBIS in many respects are connected to development of new methods of formation of the image. To such method concern ion-beam and electronic lithography. The computer modeling is applied to the decision of typical tasks electron beam lithography which allows essentially to lower expenses for introduction of the named methods. Among packages of computer modeling in job the program complex CASINO v.2.41 (development of author's group D. Drouin and all, Universite de Sherbrooke, Quebec, Canada), realizing method of Monte-Carlo of numerical modeling of process of exhibiting of substance by a bunch (beam) electrons is considered. The considered program allows to build trajectories primary and secondary electrons in substance, at a choice and variation of set of parameters playing the important role at exhibiting. The program complex "CASINO" can be used in laboratory jobs at the rates

connected to radiating safety for the decision of tasks connected with occurrence of x-ray radiation, connected to occurrence, electrons in a firm body.

УДК 661.183.123

**ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ
ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ
УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

А.В. Гречаников, А.П. Платонов, С.Г. Ковчур

*Учреждение образования «Витебский
государственный технологический университет»*

Полиэлектролиты – это макромолекулы, содержащие ионогенные группы, которые в полярных растворителях способны диссоциировать с образованием заряженной полимерной цепи (макроиона) и низкомолекулярных противоионов. Наличие зарядов и высокая степень полимеризации обуславливают то, что полиэлектролиты обладают уникальными, не характерными как для незаряженных макромолекул, так и для низкомолекулярных электролитов свойствами. Водорастворимые полиэлектролиты обладают специфическими особенностями из-за наличия активных ионизирующихся функциональных групп в цепи макромолекулы. Полиэлектролиты обладают флокулирующими, стабилизирующими и структурообразующими свойствами. Водорастворимые полиэлектролиты находят применение в различных областях: в качестве флотореагентов, стабилизаторов, структурообразователей и флокулянтов дисперсных систем [1]. Недостатки применяемых полиэлектролитов – плохая растворимость в воде, недостаточная эффективность и высокая стоимость.

В настоящей работе использовались следующие полиэлектролиты: полистиролсульфокислота (НР) и хлорид поливинилбензилтриметиламмония (СІР). Полистиролсульфокислота получена сульфированием полистирола с молекулярной массой, равной 200000. Степень сульфирования составила практически 100 %. Очистка НР осуществлялась с помощью диализа через целлофановую полупроницаемую мембрану, а также пропусканием через катионит КРС-4 в H^+ -форме. В качестве водорастворимого поликатионита использовалась соль СІР со средней молярной массой 120000. Степень аминирования составила 0,95. Очистка СІР также осуществлялась с помощью диализа. Для окончательной очистки полиэлектролит пропускали через колонку с анионитом в Cl^- -форме. Концентрирование растворов полиэлектролитов проводилось их упариванием при 50 °С. Ионы водорода анализировались алкалиметрически, ионы хлора – меркуриметрически.

Для оценки эффективности полиэлектролитов как флокулянтов необходимо изучить их структурно-механические свойства, в первую очередь, вязкость (рис.1).

Рост удельной вязкости полиэлектролитов с концентрацией связан с возникновением надмолекулярных образований и ассоциатов. Наибольшей вязкостью обладают полиэлектролиты, полученные на основе поливинилбензилхлорида. Существенное влияние на структурно-механические свойства полиэлектролитов оказывает рН среды и температура.

Вязкость водных растворов полиэлектролитов в зависимости от рН среды проходит через максимум. В слабокислой среде преобладают электростатические силы отталкивания, свернутая молекула стремится выпрямиться, удельная вязкость возрастает. Максимум должен наблюдаться при полной нейтрализации полиэлектролита, однако, это не отражается максимумом при рН = 7. Характерной особенностью водорастворимых полиэлектролитов является аномальное изменение приведенной вязкости с изменением концентрации: по мере разбавления раствора приведенная вязкость повышается.