

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

М. Ю. Корпачёв, П.С. Костомаров

*Московский государственный институт электроники и математики
(технический университет)*

В настоящее время благодаря интенсивному развитию и широкому применению электроники, нельзя не отметить важность рентгеновского излучения, как инструмента для формирования структурных объектов топологии на кристаллах кремния и арсенида галлия. Рентгеновский анализ играет важную роль во многих областях науки и технологии. В противовес электронной микроскопии – рентгеновская микроскопия может исследовать образцы в их естественном состоянии (жидкость, газ). Кроме того, это даёт возможность исследования не только поверхности, но и внутренней структуры. Всё это говорит о чрезвычайной важности излучения, открытого Вильгельмом Конрадом Рентгеном в 1895 году, поэтому, с момента открытия, ведутся работы по совершенствованию источников рентгеновского излучения, а также разработка методов его фокусировки. Так как фокусировка рентгена является сдерживающим фактором развития рентгенолитографии, предложен способ решения данной проблемы

Для выполнения нанотехнологических операций предложены следующие устройства.

Рентгенофокусирующее устройство на основе фокусирующих элементов - фуллеренов (рис. 1)

В основу идеи положена задача обеспечить фокусировку излучения в диапазоне длин волн $\lambda = 4 \text{ пм} \div 5 \text{ нм}$ ($4 \cdot 10^{-12} \div 5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$).

Согласно предложенной авторами Ивашовым Е.Н., Костомаровым П.С. и Лучниковым А.П. полезной модели [Патент РФ на ПМ №86369, кл. 7 Н02N2/00, 27.08.2009, Бюл. № 24], на торце пьезосканера установлен источник рентгеновского излучения с фокусирующими линзами, выполненными в виде фокусирующих элементов – фуллеренов, расположенных в каналах свинцовой матрицы, диаметр d каналов 20 – 50 нм, количество фуллеренов не менее 10^3 в одном канале, длина L каждого канала составляет 20 - 50 мкм, а расстояние l между каналами по осям не менее двух диаметров канала.

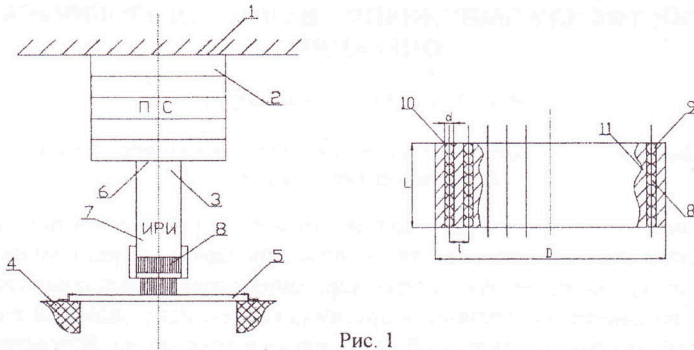


Рис. 1

1 – неподвижная платформа; 2 – пьезосканер; 3 – источник излучения; 4 – подложкодержатель; 5 – подложка; 6 – торец пьезосканера; 7 – источник рентгеновского излучения; 8 – фокусирующие линзы; 9 – фокусирующие элементы – фуллерены; 10 – каналы свинцовой матрицы; 11 – свинцовая матрица

Введение в устройство для выполнения наноопераций фокусирующих линз, выполненных в виде фуллеренов, расположенных в каналах свинцовой матрицы, диаметр d каналов 20 – 50 нм, количество фуллеренов не менее 10^3 в одном канале, даёт возможность фокусировать рентгеновское излучение с уменьшением фокусного расстояния до нескольких мкм.

Устройство для выполнения наноопераций работает следующим образом. От источника (рис. 1) подаётся рентгеновское излучение на фокусирующие линзы, которое фокусируется, проходя через систему фуллеренов. Фокусировка рентгеновского излучения осуществляется линзой, имеющей двояко – вогнутый профиль, получаемый за счёт двух соседних фуллеренов в канале. Количество фуллеренов в канале не менее 10^3 , обусловлено тем, что коэффициент преломления рентгеновских лучей близок к единице и отличается от неё на $10^{-5} - 10^{-7}$.

Варьируя количество фокусирующих линз можно достичь того или иного фокусного расстояния в зависимости от параметров технологического устройства.

Применение предлагаемого технологического решения позволяет обеспечить возможность выполнения операций в рентгеновском диапазоне с длиной волны $\lambda = 4 \text{ пм} \div 5 \text{ нм}$ ($4 \cdot 10^{-12} \div 5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$).

Устройство для формирования квантовых ям на подложке (рис. 2)

В основе идеи положена задача обеспечить возможность формирования квантовых ям в диапазоне размеров от нескольких десятых долей до единиц нанометров.

Согласно предложенной авторами идеи в устройство дополнительно введён источник рентгеновского излучения, жёстко закреплённый на торце пьезопривода. На торце источника установлен пакет зондов, каждый зонд

выполнен в виде многослойной углеродной нанотрубки со сферическим наконечником, причём количество зондов не менее 10000.

Введение в устройство для формирования квантовых ям на подложке источника рентгеновского излучения, пакета зондов обеспечивает возможность формирования квантовых ям в диапазоне размеров от нескольких десятых долей до единиц нанометров.

Устройство для формирования квантовых ям на подложке (рис. 2) работает следующим образом.

Пьезопривод установленный на неподвижном основании и связанный с источником рентгеновского излучения обеспечивает необходимое перемещение источника рентгеновского излучения, а вместе с тем и пакета зондов, установленного на торце источника, относительно подложки, установленной на неподвижном подложкодержателе. Далее в технологическую область подаётся рабочий газ посредством источника рабочего газа, после чего производится включение источника. Излучение от источника, проходя пакет зондов, содержащий не менее 10000 зондов, выполненных в виде многослойных углеродных нанотрубок, фокусируется с помощью сферических наконечников, которые в данном случае выполняет роль собирающих линз. Сфокусированное рентгеновское излучение обеспечивает формирование на подложке квантовых ям.

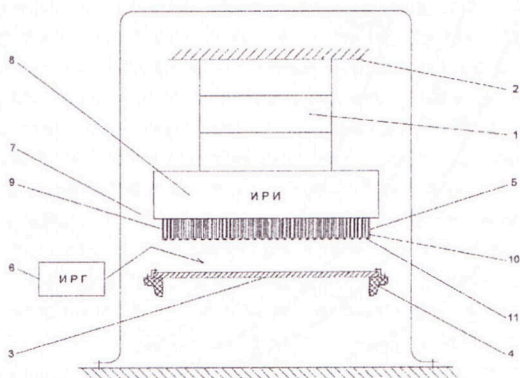


Рис. 2

- 1 – многозондовый пьезопривод; 2 – неподвижное основание;
- 3 – подложка; 4 - неподвижный подложкодержатель; 5 – пакет зондов;
- 6 – источник рабочего газа; 7 – технологическая область;
- 8 – источник рентгеновского излучения; 9 – зонд;
- 10 – многослойная углеродная нанотрубка;
- 11 – сферический наконечник многослойной углеродной нанотрубки.

В технологическом процессе рентгенолитографии требуется уменьшение фокусного расстояния для обработки различных поверхностей. В

таком случае следует использовать замкнутые нанотрубки последовательно расположенные в одном канале, число таких трубок может достигать 1000.

Зависимость фокусного расстояния от радиуса и количества нанотрубок в канале имеет вид:

$$F = \frac{R}{2 \cdot N \cdot \delta},$$

где F - фокусное расстояние, R - радиус закрытой нанотрубки, N - количество нанотрубок в канале, δ - декремент показателя преломления для углерода.

Варьируя количество фокусирующих элементов можно достичь того или иного фокусного расстояния в зависимости от параметров технологического устройства.

Применение предлагаемого устройства для формирования квантовых ям на подложке позволяет обеспечить возможность формирования квантовых ям в диапазоне размеров от нескольких десятых долей до единиц нанометров.

Графическая интерпретация зависимости фокусного расстояния F от числа нанотрубок в канале N при четырёх значениях радиусов: $R_1 = 5$ нм, $R_2 = 10$ нм, $R_3 = 15$ нм, $R_4 = 25$ нм.

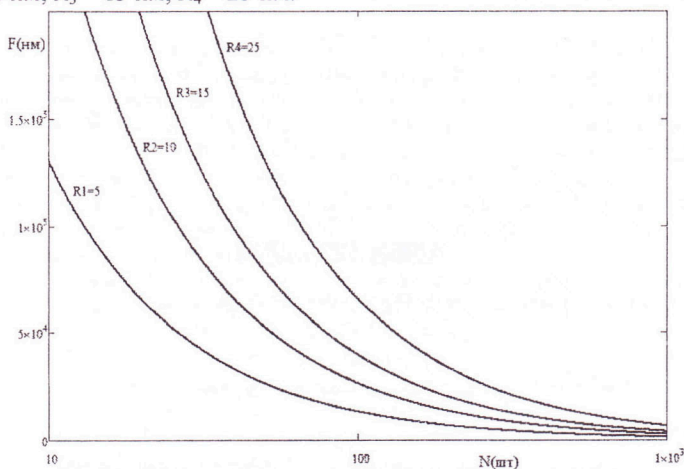


Рис. 3 Рентгенофокусирующее устройство на основе на основе фокусирующих элементов - углеродных нанотрубок и фуллеренов (рис. 4)

В основу идеи так же положена задача обеспечить фокусировку излучения в диапазоне длин волн $\lambda = 4$ пм \div 5 нм ($4 \cdot 10^{-12} \div 5 \cdot 10^{-9}$ м).

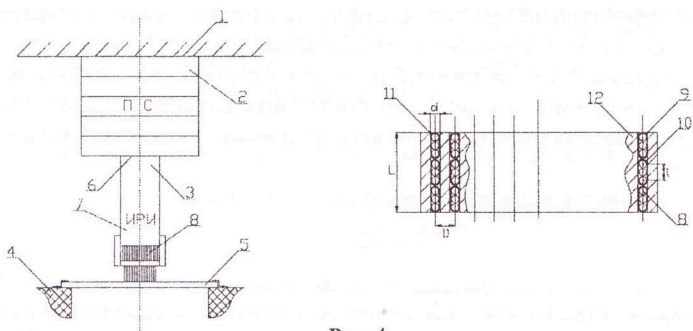


Рис. 4

- 1 – неподвижная платформа; 2 – пьезосканер; 3 – источник излучения;
 4 – подложкодержатель; 5 – подложка; 6 – торец пьезосканера;
 7 – источник рентгеновского излучения; 8 – фокусирующие линзы;
 9 – углеродные нанотрубки; 10 – фуллерены; 11 – каналы графитовой матрицы;

Согласно данному предложенному техническому решению на торце пьезосканера установлен источник рентгеновского излучения с фокусирующими линзами, выполненными в виде фокусирующих элементов – углеродных нанотрубок и фуллеренов, причём фуллерены расположены внутри углеродных нанотрубок, а сами трубки в каналах графитовой матрицы, диаметр d каналов ($1,5 \div 2$) нм, количество фуллеренов не менее 10^3 в одной углеродной нанотрубке, длина одной углеродной нанотрубки $l = (750 \div 800)$ нм, количество углеродных нанотрубок не менее десяти в одном канале, длина L каждого канала составляет ($7,5 \div 8$) мкм, а расстояние D между каналами по осям не менее двух диаметров канала ($3 \div 4$) нм.

Введение в нанотехнологическое устройство для выполнения операций фокусирующих линз, выполненных в виде фокусирующих элементов – углеродных нанотрубок и фуллеренов, причём фуллерены расположены внутри углеродных нанотрубок, а сами трубки в каналах графитовой матрицы, диаметр d каналов ($1,5 \div 2$) нм, количество фуллеренов не менее 10^3 в одной углеродной нанотрубке, длина одной углеродной нанотрубки $l = (750 \div 800)$ нм, количество углеродных нанотрубок не менее десяти в одном канале, обеспечивает возможность выполнения операций в рентгеновском диапазоне с длиной волны $\lambda = 4 \text{ пм} \div 5 \text{ нм}$ ($4 \cdot 10^{-12} \div 5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$).

Нанотехнологическое устройство для выполнения операций работает следующим образом. От источника (рис. 4) подаётся рентгеновское излучение на фокусирующие линзы, которое фокусируется, проходя через систему нанотрубок с расположенными в них фуллеренами. Фокусировка рентгеновского излучения осуществляется линзой, имеющей двояко – вогнутый профиль, получаемый за счёт двух соседних фуллеренов внутри углеродных нанотрубок. Количество углеродных нанотрубок не менее 10 в одном канале и количество фуллеренов в одной углеродной нанотрубке не

менее 10^3 , обусловлено тем, что коэффициент преломления рентгеновских лучей близок к единице и отличается от неё на $10^{-5} - 10^{-7}$.

Применение предлагаемого нанотехнологического устройства для выполнения операций обеспечивает обеспечить возможность выполнения операций в рентгеновском диапазоне с длиной волны $\lambda = 4 \text{ пм} \div 5 \text{ нм}$ ($4 \cdot 10^{-12} \div 5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$).

Исследования в данной области продолжаются.

Литература

1. К. Г. Потловский, А. Н. Артемьев, Н. А. Артемьев, В. В. Квардаков, В. Г. Корн, С.С.Предков. Разработка и исследование рентгеновской преломляющей линзы на Курчатовском источнике СИ. Известия академии наук. Серия физическая, 2004, том 68, № 4, 477 – 481.
2. К. Г. Потловский, А. Н. Артемьев, Н. А. Артемьев, В. В. Квардаков, В. Г. Корн, С.С.Предков. Разработка и исследование рентгеновской рефракционной линзы на Курчатовском источнике СИ. Рентгеновская оптика – 2003. Материалы совещания. Нижний Новгород 11 – 14 марта 2003 г. 220 – 226.
3. К. Г. Потловский, А. Н. Артемьев, Н. А. Артемьев, В. В. Квардаков, В. Г. Корн, С.С.Предков. Изображение пучка электронов курчатовского источника синхротронного излучения при помощи рентгеновской составной рефракционной линзы. Материалы XIV Российской конференции по использованию синхротронного излучения. СИ – 2002. Новосибирск, 15 – 19 июля 2002 г. 113 – 114.