

УДК 537.533

Телепортация квантовых полей и их материализация в виде топологического рельефа наноструктур

Б. Н. Васичев

Московский государственный институт электроники и математики (Технический университет),
Москва, Россия

Г. И. Фатьянова

ФГУП «НПО "Орион"», Москва, Россия

Квантовая телепортация переменных электромагнитных полей, переносимых потоками заряженных частиц, может быть использована для формирования с высокой точностью и разрешающей способностью топологического нанорельефа наноструктур на атомном уровне.

Электронные и ионные технологии хорошо известны в производстве микроэлектронной техники. До сих пор электронное изображение использовалось в технике как средство для экспонирования веществ, чувствительных к электромагнитному излучению. Этот метод нашел широкое применение в микроэлектронике. Электронная и ионная литографии позволили формировать защитные маски с линейными размерами топологических элементов менее микрометра.

Нанотехнология требует создание метода формирования наноструктур с еще меньшими линейными размерами. В связи с этим возникла новая проблема формирования топологических элементов малых размеров. Осаждение отдельных атомов вещества, молекул или небольших кластеров в нужном месте на подложке возможно с помощью пучка заряженных частиц, сечением которого соизмеримо с размерами молекул.

В литературе широко обсуждается вопрос перемещения атомов или их высаживание с помощью иглы, а в перспективе — с использованием нанотрубок (фуллеренов). Однако они обладают малой точностью позиционирования, неуправляемостью адгезией, плохой повторяемостью и низкой производительностью.

В настоящей работе исследуется вопрос квантовой телепортации, которая является одним из физических явлений квантовой информатики и электронной оптики, позволяющих переносить квантовое состояние электромагнитного поля из одного места в другое. С помощью этого поля формируется наноструктура на атомном уровне [1].

Известно, что зарождение микрокристаллов из адсорбированного вещества на поверхности подложки связано с имеющимися на ее поверхности или на некоторой глубине под ней микро-

скопическими электрическими или магнитными полями, носителями которых являются ионы, входящие в состав кристаллической решетки подложки. При этом среда, в которой находится подложка, должна соответствовать требованиям зарождения и роста кристаллов или островковых пленок. Это температура, освещенность электромагнитным излучением, насыщенность паров, содержащих соответствующие вещества, и др. Воздействие электронного пучка позволяет значительно повысить скорость реакции свободных (не связанных) атомов или ионов с микроскопическими полями.

Анализ показал, что для формирования наноструктур необходимо на поверхности подложки формировать неоднородные поля электромагнитного излучения с локализованными микроучастками, в которых задаются такие параметры как амплитуда, фаза, с необходимым значением и ориентацией вектора напряженности как электрической, так и магнитной составляющих с высоким разрешением, в соответствии с заданным топологическим рисунком для создания условий зарождения и дальнейшего протекания реакции кристаллообразования.

Формирование наноструктур на атомном уровне возможно путем управления пространственной информацией электронно- или ионно-лучевых волновых полей. Синтез пространственных электронных или ионных волновых полей осуществляется специализированными электронно- или ионно-лучевыми системами. Материализация переносимой информации осуществляется осаждением из паровой фазы вещества на подложку под воздействием пространственной информацией электронно- или ионно-лучевых волновых полей.

При воздействии на атомы и молекулы электромагнитными полями происходят процессы, в

результате которых активируются несвязанные атомы и молекулы. При этом реализуются следующие физические процессы:

диссоциация молекул и образование новых связей в сильных электрических и магнитных полях;

десорбция и сорбция молекул и атомов в соответствии с физическими характеристиками поля (при этом процесс десорбции может осуществляться с локального места подложки);

ионизация атомов и молекул;

нерезонансное воздействие;

резонансное воздействие в одном спектральном диапазоне;

резонансное воздействие в нескольких спектральных диапазонах;

спектрально синхронизированное воздействие;

пространственно-когерентное воздействие;

поляризация атомов и молекул;

стимулированная миграция атомов, молекул и наноструктур под действием градиентов электромагнитного поля;

тепловое воздействие (приводит к увеличению технологических шумов и снижению разрешающей способности процесса).

Рассматривая поток заряженных частиц, формируемый электронно-оптической системой [2—4] как неоднородное волновое поле или как поток квантов электромагнитного поля с определенной ориентацией в пространстве векторов, напряженности электрического и магнитного полей можно представить как

$$A_{out}(A_{xyt}, \varphi_{xyt}, \rho_{xyt}, t_{xy}) = \\ = A_{in}(A_{xyt}, \rho_{xyt}, t_{xy}) \exp[i\varphi(\rho_{xyt}, t_{xy})],$$

где A_{xyt} и φ_{xyt} — абсолютная величина амплитуды и фазы, соответственно, для пространственных координат;

ρ_{xyt} — координата в поперечном сечении квантового потока;

t — время.

Квантовая телепортация осуществляется с помощью пространственно распределенного параллельного квантового канала, который реализуется с помощью пространственных многомодовых полей $E_1(A_1, \varphi_1, \rho_1, t)$, $E_2(A, \varphi_2, \rho_2, t)$, ..., $E_i(A_i, \varphi_i, \rho_i, t)$, находящихся в "перепутанном" состоянии. Объектное поле $A_{in}(A, \varphi, \rho, t)$, квантовое состояние которого требуется телепортировать, рассеивается в плоскости xu вторичных лучей, $B_x(A_x, \varphi_x, \rho_x, t)$, $B_y(A_y, \varphi_y, \rho_y, t)$, $B_{xy}(A_{xy}, \varphi_{xy}, \rho_{xy}, t)$. В задней фокальной плоскости электронной линзы происходит оптическое смешение (дифракция) каждой из рассеянных волн с сильной классической опорной волной (LO_x , LO_y , LO_{xy}).

$$[B_x(A, \varphi, \rho, t), B_y(A, \varphi, \rho, t), B_{xy}(A, \varphi, \rho, t)] + \\ + [LO_x, LO_y, LO_{xy}] = A_{out}(A, \varphi, \rho, t).$$

В квантовом канале формируется пространственно-временное поле биений опорной волны с синфазной ей квадратурной компонентой объектного поля. Фазы опорных волн сдвинуты так, что возникающее телепортированное поле $A_{out}(A, \varphi, \rho, t)$ представляет собой нестационарную поверхностную плотность разности потока переносимого волновым полем пучка заряженных частиц и которое можно представить как

$$[I_x(A, \varphi, \rho, t), I_y(A, \varphi, \rho, t), I_{xy}(A, \varphi, \rho, t)] + \\ + [ILO_x, ILO_y, ILO_{xy}] = I_{beam}.$$

Поле, переносимое этим потоком, представляет собой нестационарную голограмму объектного поля $A_{in}(A, \varphi, \rho, t)$. Действительно, для их получения применяются те же действия, что и при записи голограмм: оптическое смешение с опорной волной, фиксация пространственного сигнала биений. Отметим, что с точки зрения квантовой физики, источники флуктуаций волновых потоков определяют предельные возможности по разрешению объектного поля.

На рис. 1 представлена упрощенная схема, состоящая из управляющего транспоранта 1, задающего телепортируемое поле 2 и помещенного на расстоянии L_1 перед электронной линзой L_1 (3), и подложки 4, помещенной на расстоянии L_2 позади линзы с координатами x и h , где формируется выходное телепортируемое поле $s(\xi, \eta)$ и с его помощью из облака ионов — рельеф наноструктуры.

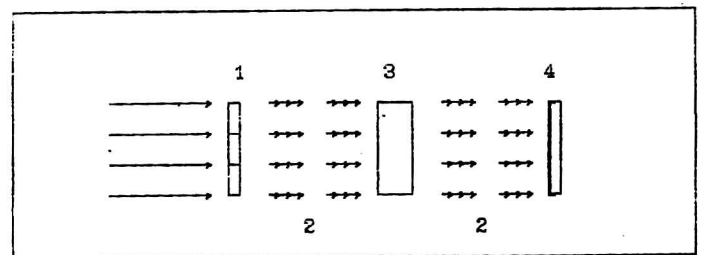


Рис. 1. Схема телепортации неоднородного электромагнитного поля, переносимого потоком электронов

Поле на выходе линзы имеет вид

$$s(\xi, \eta) = \exp\left[\frac{ik}{2L_1}(\xi^2 + \eta^2)\right] \frac{1}{\lambda g L_1 L_2} \int_x \int_y s(x, y) \times \\ \times \exp\left[\frac{ik}{2L_1}(x^2 + y^2)\right].$$

$$xp \left\{ -\frac{ik}{2g} \left[\left(\frac{x}{L_1} + \frac{\xi}{L_2} \right)^2 + \left(\frac{y}{L_1} + \frac{\eta}{L_2} \right)^2 \right] \right\} dx dy,$$

здесь k — волновое число в окружающей среде;
 λ — длина волны по де Бройлю;
 f — фокусное расстояние электронной линзы.

$$g = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} - \frac{1}{f}.$$

Если входная плоскость транспоранта расположена в передней фокальной плоскости линзы $L_1 = f_1$, а плоскость подложки совпадает с задней фокальной плоскостью $L_2 = f_1$, то выходное поле можно представить следующим образом:

$$s(\xi, \eta) = \frac{1}{f_1} \iint_{xy} s(x, y) \exp \left[-\frac{ik}{f_1} (x\xi + y\eta) \right] dx dy.$$

Выходное поле в задней фокальной плоскости линзы является преобразованием Фурье входного поля. Угол отклонения лучей и их координаты в входной плоскости пропорциональны частоте сигнала:

$$\xi = \frac{\omega_x}{k} f_1 = \frac{\omega_x}{2\pi} \lambda f_1, \quad \eta = \frac{\omega_y}{k} f_1 = \frac{\omega_y}{2\pi} \lambda f_1.$$

Элементарная электронно-оптическая система позволяет одновременно формировать позади линзы изображение входного поля с коэффициентом увеличения (уменьшения) M и его спектр. Изменяя оптическую силу линз, можно выполнять различные действия с полями, переносимыми электронным пучком.

В качестве электронно-лучевого транспоранта используются микровакуумные ячейки, которые представляют собой многоэлектродную твердотельную структуру с цилиндрической формой вакуумного канала [4, 5].

Электронно-оптическая система (ЭОС) устройства для формирования наноструктур состоит из электронной пушки, транспоранта, электронных линз, телепортирующих квантовые поля, переносимые пучком электронов на подложке. Отклоняющие системы управляют позиционированием пучка в задаваемую точку пространства.

Для материализации телепортируемого поля на поверхности полупроводниковой подложки в технологическую камеру подаются продукты в виде пара. Из них формируется нанорельеф [1].

На рис. 2 представлена схема возможной материализации телепортируемого поля 2. Электронно-оптическая схема 1 формирует поток электронов, которые переносят информацию на поверхность подложки 4. Одновременно в рабочую камеру подается вещество в виде пара 3. Под действием неоднородного поля у поверхности подложки 5 происходит сорбция атомов вещества, поступающего в камеру. Меняя состояние поля с помощью ЭОС и варьируя состав подаваемого вещества, можно менять состав осаждаемой пленки.

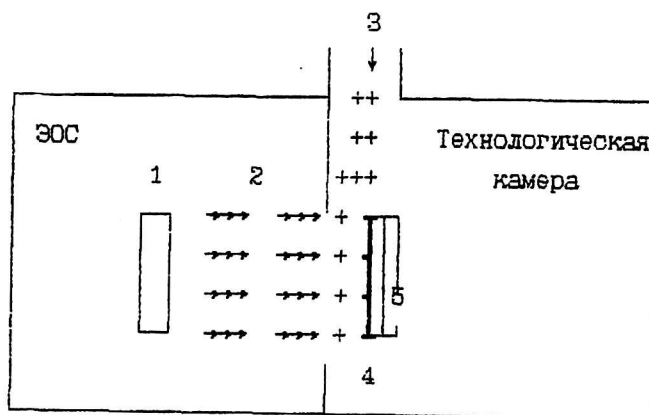


Рис. 2. Схема материализации неоднородного электромагнитного поля, переносимого потоком электронов

В данной работе показано, что квантовая телепортация с помощью потока заряженных частиц, переносящих квантовые состояния распределенных в пространстве и времени неоднородных высоколокализованных электромагнитных полей, способна стимулировать синтез наноструктур на молекулярном уровне. Эта технология перспективна для решения проблемы производства нанотехнологических комплексов и, как следствие, терабитных запоминающих устройств, что приведет к созданию принципиально новой микросистемной техники, а также нанoeлектронных приборов, значительно превосходящих традиционные аналоги.

Литература

1. Васичев Б. Н., Фатьянова Г. И. Телепортация квантовых электромагнитных микрополей как средство формирования микро- и наноструктур // Тез. докл. XIX Российской конф. по электронной микроскопии 28–31 мая 2002 г. С. 63. Черногловка. М., Россия.; Васичев Б. Н. Телепортация квантовых полей и материализация телепортируемого поля в виде топологического рельефа наноструктур, как новое направление в нанотехнологии // Тез. докл. XVII Междунар. науч.-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. 27–31 мая 2002. М., Россия.

2. Васичев Б. Н. Синтез электронно-оптических систем с заданной переходной характеристикой для решающих устройств// Известия АН. Сер. физич. 1993. Т. 57. № 8. С. 131—136.

3. Васичев Б. Н. Переходные характеристики электронно-лучевых решающих устройств// Тез. докл. на Всероссийской науч.-техн. конф. "Электроника и информатика". — г. Зеленоград, Россия, ноябрь, 1995.

4. Васичев Б. Н. Разработка вакуумного электронно-лучевого решающего устройства// Тез. докл. на науч.-техн. конф. "Вакуумная техника". — г. Гурзуф, 1996, сентябрь.

5. Васичев Б. Н. Управление пространственной информацией электронно-лучевых волновых полей в электронно-лучевых вычислителях и электронных микроскопах// Прикладная физика. 2000. № 2. С. 67—76.

Teleportation of quantum fields and their materialization as a topological contour of nanostructures

B. N. Vasichev

Moscow State Institute of Electronics and Mathematicians (Technical University), Moscow, Russia

G. I. Fatiyanova

Orion Federal Research — and—Production Association, Moscow, Russia

Quantum teleportation of the variable electromagnetic fields to be carried away by electron beams can be used for forming the physical nanostructures.