

УДК 621.396.679.4

В.И. Слюсар<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Д.В. Слюсар<sup>2</sup>

## Концепция конструктивного исполнения наноантенных решеток в составе наносхем беспроводных сетей mimo на кристалле

Предложены концептуальные основы конструктивного выполнения наноантенных решеток в составе многослойных наносхем для реализации беспроводных сетей на кристалле (WiNoC) на основе технологий MIMO и MultiUser MIMO.

In this paper the conceptual basics of construction design of nanoantennas array as a part of multilayered nanonodes for realisation of wireless networks on the chip (WiNoC) on the basis of technologies MIMO and MultiUser MIMO are presented.

**Ключевые слова:** наносхемы, наноантенные решетки, беспроводные сети на кристалле (WiNoC), технологии та MultiUser MIMO.

### Введение

Важным направлением развития SoC стало появление сетей на кристалле (Network on Chip, NoC). Согласно [1], парадигма сети-на-чипе (NoC) возникла как методология проектирования мультиядерных чипов. Однако использование традиционной двумерной топологии микросхем вскоре обозначило граничные возможности NoC, обусловленные высоким временем ожидания передачи пакетов и потерями в энергетике сигналов, вызванными не только омическим сопротивлением, но и делением мощности при разветвлении сигналов.

В этой связи в последнее время усилия многих специалистов сосредоточились на теоретической проработке вопросов создания беспроводных сетей на чипе (Wireless Network on Chip, WiNoC) в диапазонах от десятков ГГц до сотен ТГц [1]. Среди технологий, обеспечивающих высокую скорость передачи данных внутри WiNoC, заслуживают внимания методы MIMO и MultiUser MIMO (мульти-MIMO), вариант использования которых в нано-WiNoC предложен, например, в [2].

На фоне совершенствования технологий многослойной эпитаксии для изготовления наносхем при создании беспроводных сетей на кристалле следует максимально использовать возможности трехмерных топологий при конструировании приемо-передающих наноантенных решеток. Поэтому целью статьи является разработка концептуальных основ конструктив-

ного исполнения вертикально расположенных решеток нанотенн в составе наносхем, реализующих беспроводную передачу данных в сети на кристалле.

### Концепция пирамидального построения наносхем

При многослойной топологии наносхем для повышения эффективности рассеяния радиоволн в интересах применения технологии MIMO заслуживает внимания использование пирамидальных конструкций наностанций. При этом могут быть задействованы кольцевые, прямоугольные либо многогранные пирамидальные формы, в которых нановибраторы располагаются на вертикальных стенках пирамидального слоя.

Такое размещение элементов антенн на наносхеме позволяет убрать затенение наностанциями друг друга и улучшает условия рефракции радиоволн внутри корпуса SoC. Кроме того, создаются условия для дополнительного увеличения количества антенных элементов в составе нанорешеток излучателей, что в рамках технологии MIMO позволяет пропорционально повысить скорость передачи данных. На вершине пирамиды для связи с макроуровнем могут размещаться диэлектрические резонаторные антенны (ДРА) (рис. 1) либо другие разновидности объемных электрически малых излучателей, а также печатные микрополосковые антенны.

Следует отметить, что для реализации высокоскоростной передачи системы MIMO достаточно сформировать антенные решетки в 4 - 8 слоях нанопирамиды, хотя, если скорость передачи не является критичной, можно ограничиться и парой слоев.

Прототипом рассмотренных конформных конструкций антенных систем в виде усеченной пирамиды может служить четырехсекционная антенная решетка РЛС АРАР X-диапазона, созданная в рамках международного консорциума с участием компаний Thales, Raytheon Naval и Maritime Systems для ПВО кораблей класса фрегат [3]. Антенная система этой РЛС представляет собой совокупность четырех решеток, расположенных по граням усеченной пирамиды (рис. 2).

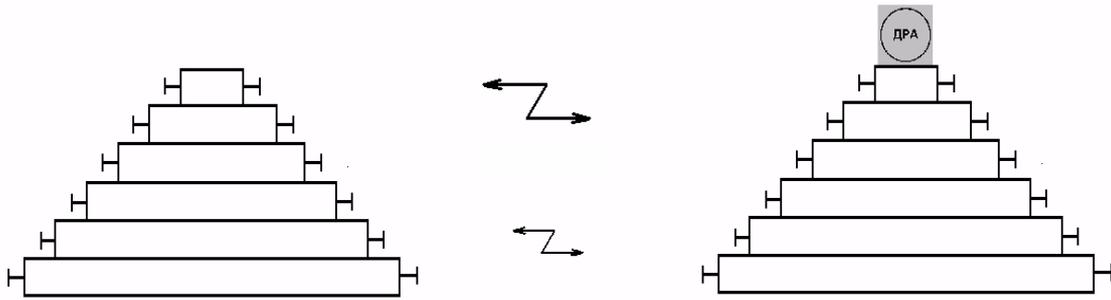


Рис. 1. Наносистема МИМО с диэлектрической резонаторной антенной в верхнем слое одной из нанопирамид для реализации радиошлюза с макроуровнем

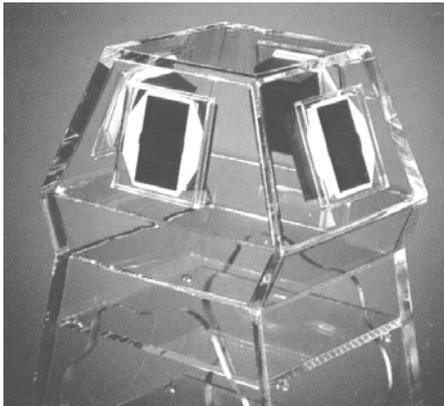


Рис. 2. Антенная решетка РЛС АРАР

Каждая из 4-х граней содержит более 3000 приемо-передающих модулей и обеспечивает обзор сектора пространства  $120^\circ$  по азимуту и  $70^\circ$  по углу места. Такой подход позволяет максимально реализовать возможности конформных антенных решеток по эффективному обзору пространства.

Частотное или временное мультиплексирование сигналов в МИМО-наносхемах при необходимости повышения скорости передачи может быть дополнено поляризационным разделением каналов, для чего следует применять наноантенны двойной поляризации, например, турникетные нановибраторы. На рис. 3 приведен вариант размещения турникетной нанорешетки формата  $2 \times 4$  на вертикальной грани пирамидального уровня.

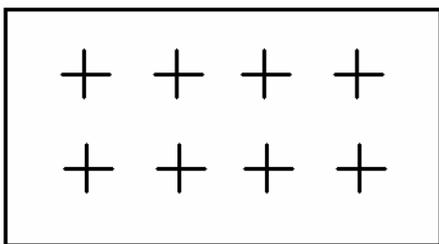


Рис. 3. Поляризационное разделение каналов с помощью турникетных нановибраторов

Реализация рассмотренного варианта вертикального размещения нановибраторов со-

пряжена с определенными технологическими трудностями, поэтому предпочтительнее использовать вертикально-горизонтальное размещение элементов нанорешеток, применив, например, на пьедесталах пирамиды горизонтально расположенные единичные вибраторы, печатные излучатели либо малоэлементные наноантенны Уда-Яги (рис. 4).

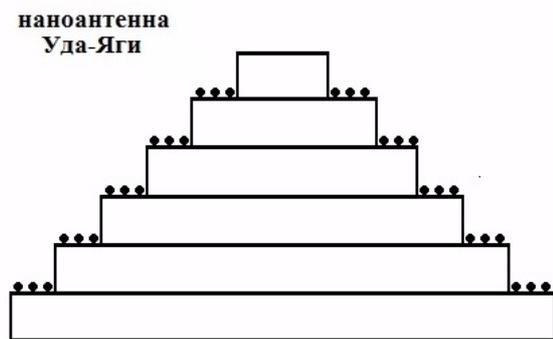


Рис. 4. Горизонтально-расположенные наноантенны Уда-Яги в составе вертикальных решеток наноизлучателей

Протяженность уступа пирамиды для размещения наноантенны Уда-Яги зависит от длины волны излучения, межэлементного расстояния вибраторов в антенне и их количества. Так, при частоте несущей сигналов 100 ТГц и полуволновом расположении антенных элементов в решетке Уда-Яги межэлементное расстояние между излучателями будет равно 1,5 мкм. При четырех элементах в составе наноантенны в этом случае необходимо обеспечить длину пьедестала в горизонтальной плоскости не менее 8 мкм. В случае ограничений на величину этого параметра порядка 10 - 15 мкм при снижении частоты излучения количество вибраторов антенны Уда-Яги может быть уменьшено до 2 - 3.

Следует отметить, что для реализации высокоскоростной передачи системы МИМО достаточно сформировать 4 - 8 слоев нанопирамиды, хотя, если скорость передачи не является кри-

точной, можно ограничиться и парой слоев (по одному излучателю в каждом слое).

На несколько слоев может устанавливаться одна общая наноантенна. Например, при 6-слойной топологии можно использовать двухуровневую пирамиду, в которой каждый из уровней образован тремя слоями, а наноантенна располагается в центральном из них (рис. 5). В результате получим два излучателя в вертикальной плоскости. В зависимости от толщины слоя на один уровень при современных технологиях может приходиться от двух до 4 слоев. К примеру, в 4-слойном варианте реализации пирамидальных уровней 8-слойная эпитаксия позволяет сформировать двухэлементную решетку по вертикали. В случае полуволнового шага элементов решетки в вертикальной плоскости при частоте излучения 100 ТГц толщина уровня пирамиды должна быть 1,5 мкм, что при 3-слойной его эпитаксии приводит к допустимой толщине одного слоя топологии наносхемы 500 нм. Выполнение данного требования при нынешнем уровне развития технологий не является сложным.

В заключение следует указать на возможность применения разнотипных уровней нанопирамид, отличающихся по количеству слоев. При этом в обработке сигналов следует учитывать неэквидистантный характер антенных решеток либо пытаться выдержать одинаковое расстояние между их элементами за счет размещения наноантенн в различных слоях смежных пирамидальных уровней.

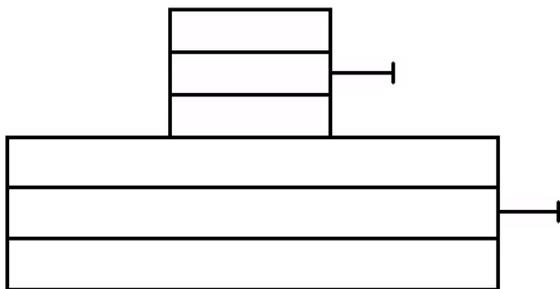


Рис. 5. Двухуровневая пирамидальная топология

## Выводы

Предложенная концепция пирамидальной топологии наносхем позволяет органично сочетать многоуровневую эпитаксию наноструктур с формированием разнесенных в вертикальной плоскости решеток наноантенных элементов. На основе рассмотренных пирамидальных конструкций наносхем возможно создавать двумерные и трехмерные антенные решетки излучателей с большим количеством элементов. В рамках технологии MIMO это позволяет пропорционально повысить скорость передачи данных за счет пространственного и поляризационного мультиплексирования информационных потоков. В результате беспроводная сеть на кристалле получает дополнительные степени свободы для маршрутизации и наращивания канальной емкости.

Совершенствование многоэлементных антенных конструкций пирамидальных наносхем, а также их электродинамическое моделирование являются предметом дальнейших исследований.

## Литература

1. Partha Pratim Pande, Amlan Ganguly, Kevin Chang, Christof Teuscher. Hybrid Wireless Network on Chip: A New Paradigm in Multi-Core Design. // NoCArc 2009. - December 12, 2009, New York, USA. - <http://www.diiit.unict.it/users/mpalesi/nocarc09/slides/pande.pdf>.
2. Слюсар В.И., Слюсар Д.В. Метод мульти-MIMO для беспроводной сети на чипе. // VII міжнародна науково-технічна конференція студентства і молоді „Світ інформації та телекомунікацій – 2010” (15- 16 квітня 2010 р.). – Київ: ДУІКТ. - С. 53–54. - <http://www.slyusar.kiev.ua/DUIKT kniga buklet4.pdf>.
3. Слюсар В.И. Цифровые антенные решетки: будущее радиолокации. // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2001. – № 3. – С. 42-46. – [http://www.electronics.ru/pdf/3\\_2001/08.pdf](http://www.electronics.ru/pdf/3_2001/08.pdf).

<sup>1</sup>Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»