



УДК 658.523

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.189.191

МЕТОД РАССТАНОВКИ КРИСТАЛЛОВ В MPW В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

MPW RETICLE FLOORPLANNING METHOD FOR LOW-VOLUME PRODUCTION

КУЗОВКОВ АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ
akuzovkov@niime.ru

KUZOVKOV ALEXEY V.
akuzovkov@niime.ru

ИВАНОВ ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ
vlaivanov@niime.ru

IVANOV VLADIMIR V.
vlaivanov@niime.ru

АО «НИИМЭ»
124460, г. Москва, г. Зеленоград,
1-й Западный проезд, 12, стр. 1

Molecular Electronics Research Institute JSC
bld. 1, 12 1st Zapadny Lane, Zelenograd,
Moscow, 124460, Russia

В работе рассматривается метод расстановки кристаллов в MPW-проектах, позволяющий минимизировать число конфликтов при резке пластин и, таким образом, снижающий число пластин, используемых для выпуска заданного объема микросхем.

Ключевые слова: MPW; расстановка кристаллов; резка пластин; стоимость проектов; эффективность проектов.

The paper describes reticle floorplanning method for MPW projects. The method allows minimizing dicing conflicts count between dies and thus minimizes wafer consumption for production.

Keywords: MPW; chip placement; wafer dicing; project cost; project efficiency.

Как известно, с уменьшением проектных норм интегральных схем в технологии растет число операций фотолитографии и ужесточаются требования к фотошаблонам [1]. Это приводит к росту стоимости комплекта фотошаблонов и ее доли в общей стоимости проектов. В связи с этим с уменьшением проектных норм растет экономическая привлекательность MPW (Multi-project wafer) проектов для мелкосерийного производства микросхем. В данных проектах разные заказчики размещают свои кристаллы в одном кадре изображения, разделяя между собой стоимость комплекта фотошаблонов.

Повышение экономической привлекательности MPW-проектов обусловлено снижением постоянных затрат по сравнению с SPW (Single-project wafer), что показано на рис. 1. Однако с увеличением программы выпуска стоимость MPW-проектов растет быстрее, чем SPW. Это обусловлено разницей в переменных затратах, а именно в количестве пластин, необходимых для выполнения программы выпуска.

Как видно из рис. 1, при заданном объеме выпуска принятие решения об участии в проекте того или иного типа зависит от положения точки равных затрат, где стоимость проектов равна. Таким образом, повышение привлекательности MPW будет обеспечиваться смещением данной точки вправо, что при неизменной стоимости фотошаблонов означает уменьшение наклона кривой MPW, т. е. повышение операционной эффективности MPW-проектов.

По мнению авторов, ключом к повышению эффективности MPW является процесс расстановки кристаллов в кадре фотошаблона, поскольку именно схема размещения кристаллов в кадре определяет число пластин, требуемое для выполнения программы выпуска. При этом число пластин определяется взаимно противоречивыми свойствами кадра: плотностью расстановки кристаллов и числом конфликтов между кристаллами. Таким образом, задача инженера, проектирующего эскиз кадра изображения, заключается в обеспечении компромисса между числом конфликтов и плотностью размещения кристаллов

в кадре, для чего может быть недостаточно одного опыта и интуиции, особенно при большом числе кристаллов.

На основе работ [2] и [3] авторами был разработан метод автоматической расстановки кристаллов в кадре, позволяющий минимизировать число пластин для производства заданного объема микросхем. Рассмотрим механизм его работы.

Входной информацией для расстановки кристаллов служит их список с указанием объема выпуска, технологические требования (ширина дорожки скрайбирования, минимальные и максимальные размеры кадра, диаметр пластины) и дополнительные указания (возможность поворота кристалла, допуск на его размер и др.). Метод включает два этапа: формирование эскиза с минимальным числом конфликтов и оценку требуемого числа пластин. Маршрут формирования эскиза основан на алгоритме, описанном в [4]. В данном алгоритме схема размещения кристаллов описывается бинарным деревом, узлам которого соответствуют кристаллы в кадре. Корню дерева соответствует кристалл, расположенный в левом верхнем углу кадра. В начале работы алгоритма дерево формируется случайным образом. При этом левому ребенку любого узла (кристалла) соответствует кристалл, размещаемый справа от него «впритык» и имеющий вертикальную координату, максимально близкую

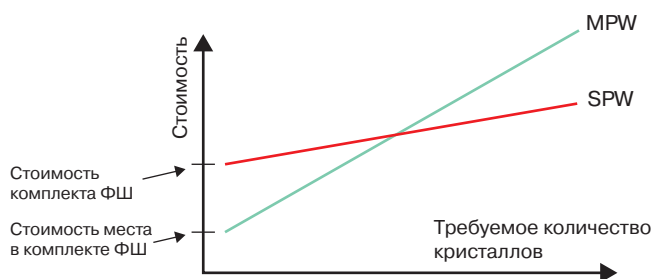


Рис. 1. Сравнение зависимостей стоимости MPW- и SPW-проектов от объема выпуска

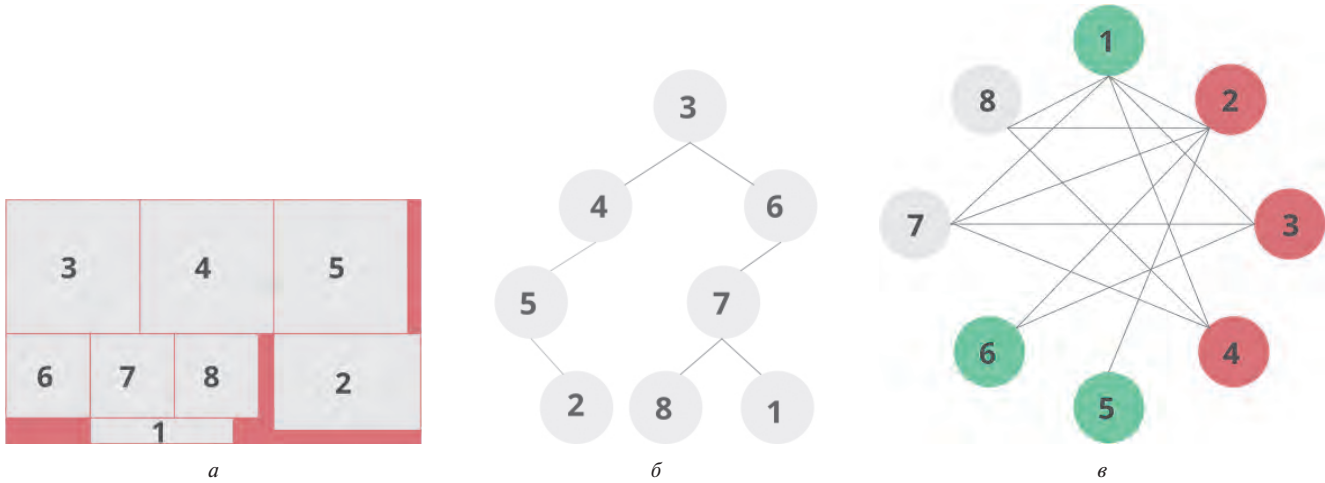


Рис. 2. а) Пример эскиза; б) дерево эскиза; в) граф конфликтов

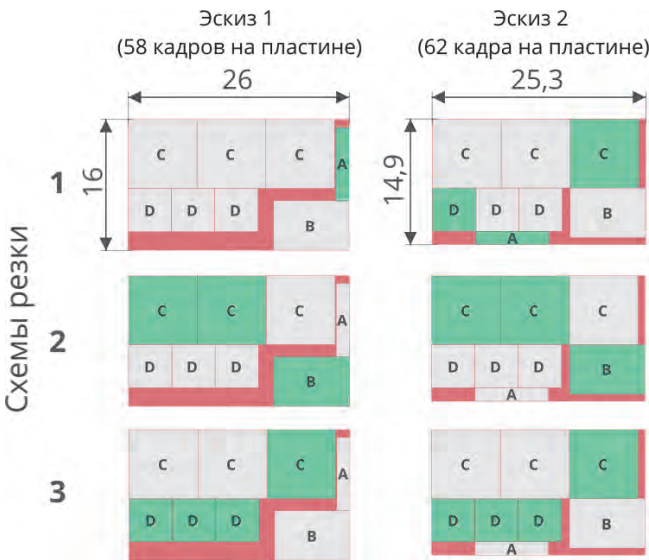


Рис. 3. Эскизы кадра и их схемы резки

Таблица 1. Исходные данные для подготовки эскиза

Кристалл	Размер, мкм	Программа выпуска, шт.
A	8600×1500	1000
B	8800×5800	1000
C	8030×8030	3000
D	5020×5020	3000

Таблица 2. Выход кристаллов при использовании подготовленных эскизов

Эскиз	Резка	Кристаллы, шт.			
		A	B	C	D
1	1–18 пластин	1044	1044	3132	3132
	2–18 пластин				
	3–18 пластин				
2	1–17 пластин	1054	1054	3844	3100
	2–17 пластин				
	3–11 пластин				

к верхней границе кадра и обеспечивающую отсутствие пересечений с другими кристаллами. Правому ребенку соответствует кристалл, левая граница которого коллинеарна левой границе родительского кристалла, а вертикальная координата, так же как и у левого ребенка, стремится максимально вверх. На рис. 2а и 2б приведены эскиз кадра изображения и соответствующее ему бинарное дерево. После начальной расстановки эскиз оптимизируется методом имитации отжига. На каждой итерации в дерево вносятся случайные изменения, такие как случайное перемещение одного узла дерева, поменять местами два случайных узла, повернуть случайный кристалл на 90°. При этом в качестве критерия оптимизации выступает величина

$$K = \delta \cdot \sum_{p=1}^{N-1} \left(\sum_{q=p+1}^N E_{pq} (V_p + V_q) \right) - (1 - \delta) \beta W H,$$

где N — число кристаллов в кадре; V_q и V_p — требуемый объем выпуска кристаллов p и q ; $E_{pq} = 1$, если кристаллы p и q могут быть вырезаны одновременно и $E_{pq} = 0$, если находятся в конфликте; δ — весовой коэффициент, определяющий значимость слагаемых; β — коэффициент нормировки, вычисляемый по формуле

$$\beta = (N - 1) \frac{\sum_{p=1}^N V_p}{W_{max} + H_{max}},$$

где W_{max} и H_{max} — максимальные допустимые значения ширины и высоты кадра соответственно.

Таким образом, критерий оптимизации включает два слагаемых, первое из которых оценивает число конфликтов между кристаллами, второе — площадь кадра, что косвенно отражает количество кадров на пластине. Варьируя коэффициент δ , можно определять приоритет между данными условиями. Такой критерий не оценивает непосредственно требуемое число пластин, однако по сравнению с расчетами, необходимыми для такой оценки, имеет значительно меньшую вычислительную сложность.

Оценка числа пластин производится для финального эскиза по окончании оптимизации. Такая оценка требует определения оптимальной схемы резки пластин. В работах [5] и [6] предложены алгоритмы оптимизации резки, активно используемые другими авторами. Данные методы основаны на построении графа конфликтов, вершинами которого являются кристаллы, а ребра показывают наличие конфликта между кристаллами (рис. 3в). Стремясь вырезать как можно больше кристаллов с каждой схемой резки, авторы решают задачу раскраски графа: группируют кристаллы,

не имеющие конфликтов друг с другом, стараясь минимизировать число групп. По мнению авторов данной работы, такой подход имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что каждый кристалл входит только в одну группу. К примеру, кристалл 6 на рис. 2а может быть вырезан одновременно с кристаллами 7 и 8 либо с кристаллами 1 и 5, однако на графе конфликтов он попадает только в одну группу.

Более эффективным решением авторы считают учет всех вариантов раскраски графа, то есть всех возможных комбинаций одновременно вырезаемых кристаллов. В предлагаемом методе составляется список всех возможных схем резки с указанием выхода кристаллов с пластины для каждой схемы, а затем решается задача линейного программирования, в результате решения которой определяется, сколько пластин должно быть порезано по каким схемам, чтобы общее число пластин было минимальным.

Рассмотрим результаты, полученные с помощью разработанного метода. На рис. 3 показаны два эскиза кадра изображения: 1-й эскиз был подготовлен инженером на основе исходных данных из табл. 1, 2-й эскиз сгенерирован автоматически. Для каждого эскиза представлены схемы резки (зеленым цветом отмечены кристаллы, вырезаемые одновременно). Как показано в табл. 2, по итогам оценки требуемого числа пластин для выполнения программы выпуска 1-й эскиз потребует 54 пластины, 2-й эскиз — 45. Стоит отметить, что второй эскиз дает подобную выгоду как за счет снижения числа конфликтов, так и за счет уменьшения кадра, позволяющего больше мультиплицировать его на пластине.

Таким образом, в рассмотренном случае разработанный метод дает выигрыш более 15 процентов по числу используемых пластин.

В более сложных случаях с большим числом кристаллов оптимальное решение еще менее очевидно для инженера и выигрыш от автоматической расстановки будет расти.

Дальнейшее развитие работы лежит в статистическом исследовании работы алгоритма в целях оптимизации его параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Prosij A. D., Ranchin S. O., Shelepin N. A. *Obespechenie kachestva v sovremennom poluprovodnikovom proizvodstve* // Elektronnaja tehnika. Serija 3. Mikroelektronika, № 161.
2. Rung-Bin Lin, Meng-Chiou Wu and Shih-Cheng Tsai. *Reticle Floorplanning and Simulated Wafer Dicing for Multiple-Project Wafers by Simulated Annealing*, Simulated Annealing Cher Ming Tan, IntechOpen, DOI: 10.5772/5569.
3. Rung-Bin Lin, Meng-Chiou Wu, Shih-Cheng Tsai. *Reticle Design for Minimizing Multiproject Wafer Production Cost*, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (Vol. 4. Is. 4. Oct. 2007). DOI: 10.1109 / TASE.2007.904239.
4. Chang Y. C., Chang Y. W., Wu G. M. & Wu S. W. (2000). *B*-trees: a new representation for non-slicing floorplans*, Proceedings of ACM / IEEE Design Automation Conference. P. 458–463.
5. Kahng A. B., Mandoiu I. I., Xu X. & Zelikovskiy A. (2005). *Yield-driven multi-project reticle design and wafer dicing*, Proceedings of 25th Annual BACUS Symposium on Photomask Technology. P. 1247–1257.
6. Kahng A. B. & Reda S. (2004). *Reticle floorplanning with guaranteed yield for multi-project wafers*, Proceedings of International Conference on Computer Design. P. 106–110.

NANOINDUSTRY

НАНОИНДУСТРИЯ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

<http://www.nanoindustry.ru/>

Издатель – АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА»

«НАНОИНДУСТРИЯ» — это публикации о создании и использовании наноматериалов, наноразмерных устройств и иных технических инноваций для электроники, медицины, строительства, топливной и нефтяной промышленности.

Тираж – 4000 экземпляров.

Издается на 2-х языках (русском и английском).

Периодичность – 8 номеров в год.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования, в базу RSCI на платформе Web of Science и в Перечень ВАК.

Тел. +7 (495) 234-01-10, Факс +7 (495) 956-33-46

E-mail: nano@technosfera.ru www.nanoindustry.ru

