

## FIB МИКРОСКОПИЯ, ОСОБЕННОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Коротыш И.Г.

Петлицкая Т.В. – канд. техн. наук, доцент

FIB микроскопия (Focused ion beam, ФИП, Фокусированный ионный пучок) – это методика, аналогичная растровой электронной микроскопии, но использующая сфокусированный пучок ускоренных частиц с большей кинетической энергией – ионов вместо электронов, при этом разрешающая способность прибора составляет около 5 нанометров. FIB может быть как дополнением к растровому электронному микроскопу (двулучевая система), так и отдельным прибором. Существуют установки, в которых используются оба вида пучков – ионные и электронные. Самыми распространенными источниками ионов являются так называемые жидкометаллические, с использованием галлия, который обладает низкой температурой плавления – около 30 °С. Кроме галлия в источниках используются также золото и иридий. Источник ионов представляет собой вольфрамовую иглу, покрытую жидким галлием, которая под воздействием большого электрического поля вызывает ионизацию и последующую эмиссию ионов галлия. Далее производится ускорение ионов до энергии в 5-50кэВ и последующая их фокусировка на исследуемую область с помощью электростатической линзы, которая состоит из нескольких электродов различной формы находящихся под разными потенциалами. Ток в установках достигает десятков наноампер и фокусируется в пятно в несколько нанометров. После ускорения электрическим полем и фокусировки, ионы сталкиваются с образцом, поскольку они обладают большой кинетической энергией то при столкновении они выбивают атомы материала из исследуемого образца. В отличие от электронного микроскопа, FIB разрушает образец. При подаче высокого тока ионный пучок с легкостью разрезает образец с микронной точностью, таким образом позволяя заглянуть вглубь образца на необходимый слой, без предварительного травления поверхности ИМС, а также предоставляется возможность исследования вертикальной структуры образца в месте сечения. FIB позволяет обрабатывать поверхность образца с высокой точностью – возможно удалить слой с поверхности на глубину равную атомному размеру, при этом совершенно не затрагивая следующий слой. Шероховатость поверхности образца после обработки ионным пучком составляет менее микрона. Если образец, или его участок изготовлен из непроводящего ток материала, то на его поверхности накапливаются ионы, которые отталкивают пучок ионов, для его нейтрализации используют поток электронов. В процессе обработки поверхности также происходит имплантация ионов галлия в глубину исследуемого образца на несколько нанометров и поверхность образца приходит к аморфному состоянию. Также с помощью FIB можно выполнять операции послойной локальной реконструкции, ремонта и модификации сложных объектов в ИМС. Современные FIBы оснащены собственной системой изображений, поэтому нет необходимости использовать электронный микроскоп для контроля процесса обработки, а также позволяют наблюдать за процессом в режиме реального времени. Особенностью данной технологии является то, что наряду с реализацией жестких технологических операций, таких как ионная фрезеровка, селективное ионно-стимулированное травление или осаждение позволяет проводить электрические зондовые измерения непосредственно в камере препарирования при нанометровой точности механического позиционирования электрического зонда.

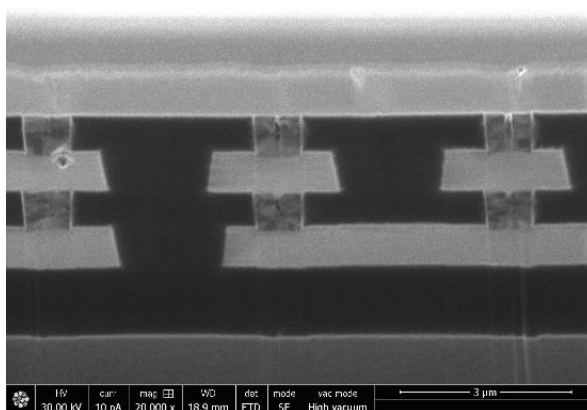


Рисунок 1 – РЭМ-фото фрагмента топологии ИМС с сечением дефекта металлизации на FIB микроскопе FEI Versa 3D

Основными этапами исследования ИМС с помощью FIB микроскопии являются: выбор участка поверхности для проведения исследований, создание поперечного сечения кристалла ИМС в указанном месте методом локального жесткого ионно-лучевого травления с ускоряющим напряжением 30кВ, схемка интересующего фрагмента топологии с выбором оптимального увеличения, производство последовательности поперечных сечений для локализации искомого участка. При необходимости имеется возможность частичного или полного восстановления фрагмента топологии ИМС с топологической нормой уровня 100нм, однако этот процесс трудоемкий и требует больших временных затрат.

На микроскопе FEI Versa 3D было проведено вертикальное сечение в указанной области и проведен анализ вертикальной структуры исследуемой дефектной ИМС, в ходе которого был локализован дефект контакта металлизации (рисунок 1). В процессе исследований было выявлено постороннее включение между уровнями металлизации ИМС. Данное включение вероятно, увеличивает контактное сопротивление.



Рисунок 2 – Микроскоп FEI Versa 3D

Данный микроскоп позволяет получать высококачественные изображения по композиционному и топографическому контрасту, изготавливать поперечные сечения для исследования топологических слоев ИМС, а также проводить фотолитографические операции. С его помощью можно исследовать поверхностные и подповерхностные области образцов, в том числе и нанометровых размеров, а также изготавливать кросс-секции объекта исследования, производить подготовку высококачественных образцов для исследований в просвечивающем электронном микроскопе. Гибкость конфигурации вакуумного режима прибора позволяет исследовать токопроводящие образцы в режиме высокого вакуума или непроводящие образцы в режиме высокого и низкого вакуумов. Также имеется возможность проводить динамические эксперименты с газовым и термическим контролем. Разрешение в режиме электронов 0.8 нм при 30 кВ СПЭМ (сканирующая просвечивающая электронная микроскопия). Разрешение в режиме ионов 5 нм при 30 кВ СПЭМ. А использование программного обеспечения Auto Slice and View G3 позволяет выполнять трехмерный анализ характеристик широкого спектра материалов.

Областью применения FIB микроскопии в микроэлектронике является исследование структур ИМС и контроль их качества.

**Список использованных источников:**

1. Попов В. Ф., Горин Ю. Н. Процессы и установки электронно-ионной технологии. — М.: Высш. шк., 1988.
2. Виноградов М.И., Маишев Ю.П. Вакуумные процессы и оборудование ионно- и электронно-лучевой технологии. — М.: Машиностроение, 1989.
3. J. Orloff, M. Utlaut and L. Swanson. High Resolution Focused Ion Beams: FIB and Its Applications. — Springer Press, 2003
4. FEI Company. Focused ion beam technology, capabilities and applications. — 2006.