DOI: 10.17117/na.2016.05.03.223

<http://ucom.ru/doc/na.2016.05.03.223.pdf>

Поступила (Received): 02.05.2016

Милованов Р.А., Купашев Ю.С., Боброва Е.В., Шишкин В.И. Особенности локального удаления материалов при помощи РЭИМ Quanta 200 3d

Milovanov R.A., Kupashev Yu.S., Bobrova E.V., Shishkin V.I.
Features of local material milling with FIB system Quanta 200 3d

Исследовались особенности удаления материалов, используемых в изделиях микроэлектроники, методом локального ионно-лучевого травления с применением ФИП систем. В рамках проведенной работы была исследована зависимость формы углублений от параметров процесса локального удаления материалов, выполняемого при помощи растрового электронно-ионного микроскопа Quanta 200 3d. Исследовалось влияние тока пучка, заданной глубины, эффекта переосаждения и точности фокусировки

Ключевые слова: ФИП, ИЛТ, вертикальное сечение, эффект переосаждения

Милованов Роман Александрович
Заместитель начальника отдела
Институт нанотехнологий микроэлектроники
РАН
г. Москва, Ленинский проспект, 32 А

Купашев Юрий Сергеевич
Младший научный сотрудник
Московский технологический университет
(МИРЭА)
г. Москва, проспект Вернадского, 78

Боброва Екатерина Владимировна
Лаборант
Московский технологический университет
(МИРЭА)
г. Москва, проспект Вернадского, 78

Шишкин Владимир Ильич
Кандидат химических наук, директор учебно-научного объединения
Московский технологический университет
(МИРЭА)
г. Москва, проспект Вернадского, 78

In our work we researched local material milling features which made with help of FIB system (ion-beam milling). We examined submicron hollow features which made with help of FIB system Quanta 200 3d depending on milling parameters. Effect of an ion beam current value, selected depth, redeposition effect and focusing accuracy were investigated

Key words: FIB, milling, cross-section, redeposition effect

Milovanov Roman Aleksandrovich
Deputy Head of Department
Institute of nanotechnology microelectronics RAS
Moscow, Leninsky ave., 32 A

Kupashev Yuriy Sergeevich
Junior Researcher
Moscow technical university (MIREA)
Moscow, Vernadskiy ave., 78

Bobrova Ekaterina Vladimirovna
Assistant
Moscow technical university (MIREA)
Moscow, Vernadskiy ave., 78

Shishkin Vladimir Ilich
Candidate of Chemical Sciences, Director of educational scientific association
Moscow technical university (MIREA)
Moscow, Vernadskiy ave., 78

Цель – исследование особенностей удаления материалов, используемых в изделиях микроэлектроники, методом локального ионно-лучевого травления (ИЛТ). Известно, что при локальном удалении материалов субмикронных размеров методом ИЛТ (при помощи ФИП систем), форма и размеры получаемых углублений отличаются от заданных. В рамках проведенной работы была исследована зависимость формы углублений от параметров процесса локального удаления материалов кристалла интегральной схемы (ИС), выполняемого при помощи растрового электронно-ионного микроскопа (РЭИМ) Quanta 200 3d с жидкометаллическим источником ионов галлия (Ga^+). Исследовалось влияние тока пучка, заданной глубины, эффекта переосаждения и точности фокусировки.

Исследование влияния значения тока ионного пучка на параметры формируемых углублений.

Проводимые исследования включали следующие основные этапы:

- локальное удаление материалов кристалла ИС (рис. 1б);
- локальное напыление платины на область сформированного углубления (рис. 1в);
- выполнение вертикального сечения кристалла в области углубления (рис. 1г);
- анализ формы полученного углубления.

В рамках исследований локально удался материал кристалла ИС с различными значениями тока ионного пучка. Параметры выполняемых процессов приведены в таблице 1. На рисунке 2 приведены изображения вертикальных сечений полученных углублений.

Рис. 1. Изображения фрагмента кристалла ИС – основные этапы локального удаления материалов кристалла (а – изображение выбранного фрагмента; б – локальное удаление материалов; в – локальное напыление платины; г – вертикальное сечение области углубления)

Таблица 1. Параметры локального удаления материалов кристалла ИС (исследование зависимости формы и размеров получаемого "колодца" в зависимости от тока ионного пучка)

П.п	X, мкм	Y, мкм	Z, мкм	Dwell time, мкс	Rel. Int. Diam, %	Время процесса, мин:с	Ток пучка, нА	Ускор-е напр-е, кВ
1	0,7	0,7	1,4	1,0	0	1:16:59	0,001	30
2	0,7	0,7	1,4	1,0	0	7:40	0,01	30
3	0,7	0,7	1,4	1,0	0	2:34	0,03	30
4	0,7	0,7	1,4	1,0	0	3:21	0,05	30
5	0,7	0,7	1,4	1,0	0	46	0,1	30
6	0,7	0,7	1,4	1,0	0	16	0,3	30
7	0,7	0,7	1,4	1,0	0	9	0,5	30
8	0,7	0,7	1,4	1,0	0	5	1	30
9	0,7	0,7	1,4	1,0	0	2	3	30
10	0,7	0,7	1,4	1,0	0	0,965	5	30
11	0,7	0,7	1,4	1,0	0	0,650	7	30
12	0,7	0,7	1,4	1,0	0	0,382	20	30

Для токов ионного пучка 0,001 нА (п.п. 1, табл. 1) и 20 нА (п.п. 12, табл. 1) изображения вертикальных сечений на рисунке 2 не приведены, т.к. сформировать углубления с указанными параметрами не удалось. Для тока 0,001 нА время процесса составляет более часа. При токе пучка 20 нА углубление не сформировалось.

Анализ данных, приведенных в таблице 1 и изображений на рисунке 2, показывает, что:

- формируемые углубления, для всех параметров процессов (п.п. 2-11, табл. 1) имеют коническую форму;
- для малых токов пучка имеет место несоответствие фактической глубины заданной (фактическая глубина больше заданной);
- с увеличением значения тока пучка, размеры углубления в плоскости (координаты X и Y) увеличиваются, а в глубину – уменьшаются;
- для тока пучка 0,01 нА – глубина меньше чем для тока 0,03 нА, и для тока 0,3 нА больше чем для 0,1 нА, что может быть объяснено погрешностью фокусировки на итоговую глубину.

Таким образом, для локального удаления материалов, оптимально использовать следующие значения тока пучка: 0,03 нА, 0,05 нА и 0,1 нА, т.к. время процесса имеет приемлемые значения, форма углублений максимально близка к заданной.

Исследование влияния эффекта переосаждения на параметры формируемых углублений.

В случае, если области локального удаления материала находятся рядом друг с другом, формирование одного углубления может оказывать влияние на форму ранее сформированного углубления (например, часть удаляемого материала может осаждаться на дне предыдущего углубления). Для анализа влияния эффекта кристалла в области углублений (рис. 3г);

- анализ формы полученных углублений (рис. 4, 5).

Рис. 2. Изображения вертикальных сечений углублений, сформированных с параметрами, приведенными в таблице 1 (а – $I=0,01$ нА; б – $I=0,03$ нА; в – $I=0,05$ нА; г – $I=0,1$ нА; д – $I=0,3$ нА; е – $I=0,5$ нА; ж – $I=1$ нА; з – $I=3$ нА; и – $I=5$ нА; к – $I=7$ нА)

Рис. 3. Изображения фрагмента кристалла ИС – основные этапы локального удаления материалов кристалла при исследовании эффекта переосаждения (а – изображение выбранного фрагмента; б – локальное последовательное или параллельное удаление материалов; в – локальное напыление платины; г – вертикальное сечение области углубления)

Рис. 4. Изображения вертикальных сечений углублений, сформированных последовательно справа на лево с $I=0,1$ нА (а – общий вид; б – углубление №1; в – углубление №2; г – углубление №3; д – углубление №4; е – углубление №5)

Рис. 5. Изображения вертикальных сечений углублений, сформированных параллельно с $I=0,1$ нА (а – общий вид; б – углубление №1; в – углубление №2; г – углубление №3; д – углубление №4; е – углубление №5)

Анализ изображений вертикальных сечений углублений, сформированных последовательным (рис. 4) и параллельным (рис. 5) методами, показывает, что при реализации последовательного метода, в процессе формирования одного углубления в предыдущем углублении образуется слой, состоящий из продуктов взаимодействия образца с ионным пучком.

Учитывая данное наблюдение, можно утверждать, что при необходимости локального удаления материалов в нескольких, рядом расположенных областях, предпочтительней использовать параллельный метод.

Исследование влияния точности фокусировки на параметры формируемых углублений.

При проведении рассмотренных выше исследований, были замечены флуктуации фактической глубины формируемых углублений. Было предположено, что это может быть объяснено влиянием точности фокусировки.

Для проверки данного предположения, исследовалось влияние точности фокусировки на форму и размеры формируемых углублений.

Проводимые исследования включали следующие основные этапы:

- локальное удаление материалов кристалла ИС с током ионного пучка – 0,1 нА и различной точностью фокусировки;
- локальное напыление платины на область сформированных углублений;
- выполнение вертикального сечения кристалла в области углублений;
- анализ формы полученных углублений.

Рис. 6. Изображения углублений, сформированных с разной точностью фокусировки с $I=0,1$ нА (а – заданная форма углубления №1; б – фактическая форма углубления №1; в – вертикальное сечение углубления №1; г – заданная форма углубления №2; д – фактическая форма углубления №2; е – вертикальное сечение углубления №2; ж – заданная форма углубления №3; з – фактическая форма углубления №3; и – вертикальное сечение углубления №3)

Для качественной оценки изменения формы углубления, изображения их вертикальных сечений были наложены друг на друга, и отмечены границы (рис. 7). Анализ изображений, приведенных на рисунках 6 и 7 показал, что при дефокусировке ионного пучка заметного изменения глубины не происходит, однако его размеры в плоскости (X и Y) увеличиваются.

Рис. 7. Наложенные друг на друга изображения вертикальных сечений углублений, выполненных при разной точности фокусировки (коричневый – точная фокусировка; красный – средняя точность фокусировки; зеленый – плохая точность фокусировки)

Таким образом, при локальном удалении материалов, для качественного контроля формы углублений необходимо осуществлять точную фокусировку ионного пучка.

Заключение

В работе рассмотрены особенности локального удаления материалов, используемых в изделиях микроэлектроники, методом локального ИЛТ с применением ФИП системы. Приведены результаты экспериментальных исследований по формированию углублений при помощи РЭИМ Quanta 200 3d с жидкометаллическим источником ионов галлия. Исследована зависимость формы углублений от параметров процесса локального удаления материалов (ток пучка, заданная глубина, последовательность формирования, точность фокусировки).

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: формируемые углубления имеют коническую форму; для малых токов ионного пучка имеет место несоответствие фактической глубины заданной; с увеличением значения тока пучка, размеры углубления в плоскости увеличиваются, а в глубину – уменьшаются; для локального удаления материалов, оптимально использовать следующие значения тока пучка: 0,03 нА, 0,05 нА и 0,1 нА, т.к. время процесса имеет приемлемые значения, а форма углублений максимально близка к заданной.

При необходимости локального удаления материалов в нескольких, рядом расположенных областях, предпочтительней использовать параллельный метод, т.к. при реализации последовательного метода, в углублении образуется слой, состоящий из продуктов взаимодействия образца с ионным пучком (эффект переосаждения).

Точность фокусировки не оказывает заметного влияния на глубину, однако приводит к увеличению размеров углубления в плоскости.

Список используемых источников:

1. Orloff J., Utlaut M., Swanson L., *High resolution focused ion beams: FIB and its application*, New York, Springer Science. 2003. 303 p.
2. Giannuzzi L.A., Stevie F.A. *Introduction to focused ion beams, Instrumentation, Theory, Techniques and Practice*, Boston, Springer Science. 2005. 357 p.
3. Yao N., *Focused ion beam systems, basics and applications*, New York, Cambridge University Press. 2007. 395 p.
4. URL: <http://www.fei.com>

© 2016, Милованов Р.А., Купашев Ю.С., Боброва Е.В.,
Шишкин В.И.

*Особенности локального удаления материалов при
помощи РЭИМ Quanta 200 3d*

© 2016, Milovanov R.A., Kupashev Yu.S.,
Bobrova E.V., Shishkin V.I.

*Features of local material milling with FIB
system Quanta 200 3d*