Обработка экспериментальных данных

Искажения и артефакты

Искажения:

-точечные – выбросы, шумы;

-линейные - сдвиги линий сканирования по высоте, «двойниковые» строки сканирования;

-двумерные – псевдообъекты, искажения формы ступенек, интерференционные искажения, «двойниковые» изображения;

-обработочные – при проведении некорректных процедур математической обработки изображения.

Артефакты:

-графит - на СТМ-изображении виден лишь каждый второй атом на поверхности, т.е. вместо гексагонов – треугольники;

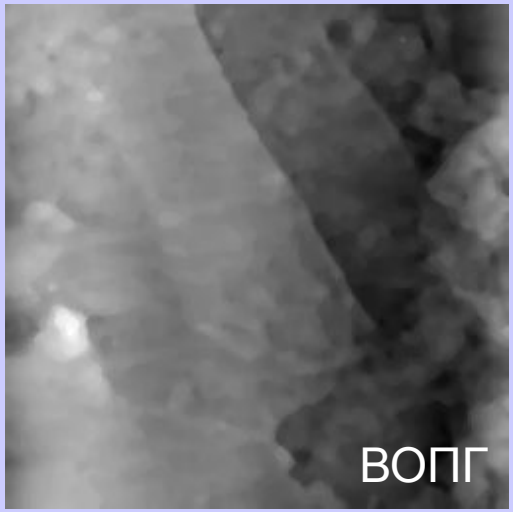
-изображение иглы (если игла «более плоская», чем особенности на поверхности образца);

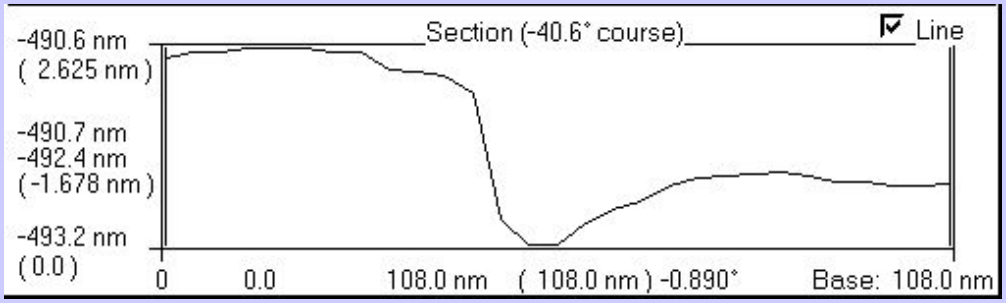
-увеличение размеров объектов при «обрастании» иглы;

-зависимость вида изображения от значения туннельного напряжения (для образцов с неоднородной проводимостью поверхности и полупроводников).

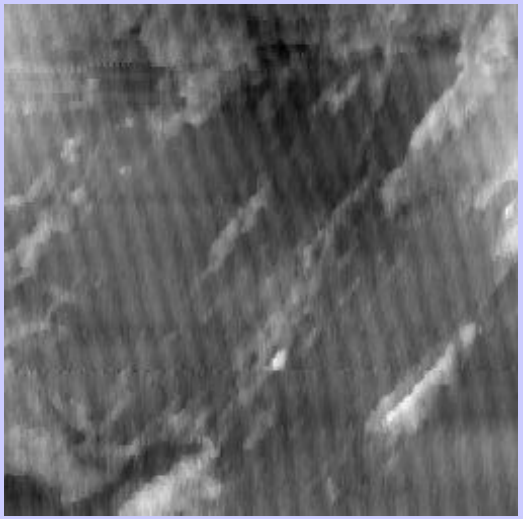
Искажения

Искажение формы ступеньки





Интерференционные искажения



Математическая обработка изображения

Задачи:

- **улучшение качества изображения** (снижение уровня шумов, устранение сбоев ступенек, “восстановление” изображения);
- **анализ полученных данных** (отделение периодической информации от непериодической, измерение расстояний, параметров шероховатости и т.д.);
- **представление результатов** (выделение объектов, 3-х мерное изображение, цветовая палитра и т.д).

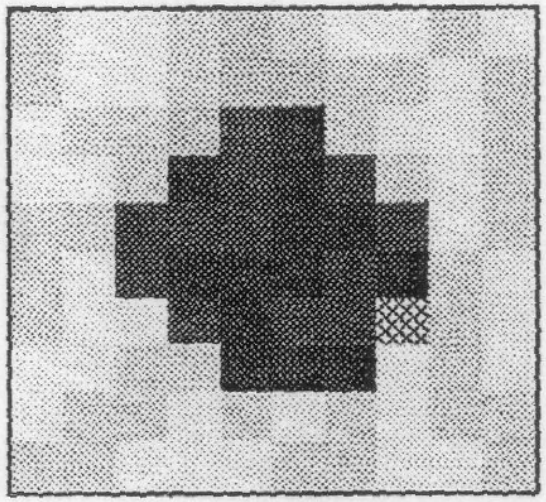
Полезная литература:

1. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии.-М:Техносфера,2004.144с.
2. Russ J.C. Computer – assisted microscopy: the measurement and analysis of images. - New York: Plenum Press, 1990. - 451 p.
3. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. М.: Мир, 1972, - 231 с.
4. Сканирующая зондовая микроскопия биополимеров. Под редакцией Яминского И.В. М.: Научный мир, 1997. – 86 с.
5. Учебное пособие по микроскопу СММ-2000, «Шаг за шагом» до получения кадров в СТМ и АСМ. М.: 2005. - 64 с.
6. **Help (программа ScanMaster – Professional scanning & analysis program for SPM).**

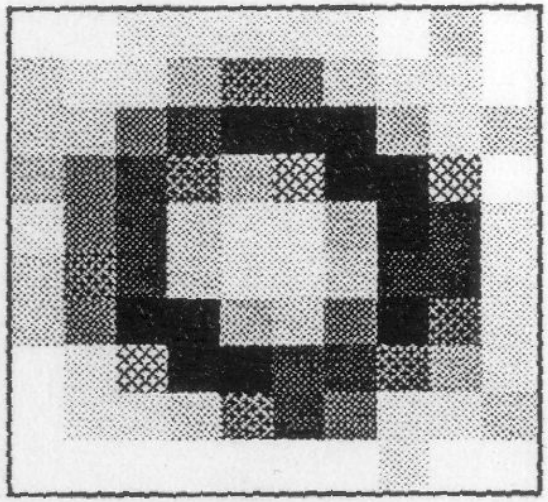
Математическая обработка изображения

Пиксельное изображение

3	2	2	3	4	3	2	2	3	2
3	2	2	3	4	4	3	3	2	3
2	3	3	4	7	8	3	2	2	3
2	2	3	8	7	8	7	3	2	3
3	3	7	7	7	8	8	7	2	3
3	2	7	8	8	8	7	8	3	2
3	2	2	7	8	7	7	5	3	2
2	2	3	3	8	8	7	2	3	2
2	3	3	2	3	2	3	2	3	3
3	3	2	2	2	3	3	2	2	3



0	0	1	1	1	1	1	0	2	0
2	1	1	3	6	5	2	1	1	0
2	2	5	8	9	9	9	3	1	2
3	5	8	6	3	4	9	9	4	0
1	5	7	2	1	1	3	9	8	1
2	6	7	2	1	1	2	8	8	1
2	5	9	9	3	2	5	9	6	1
0	1	4	9	9	7	8	6	3	1
0	1	1	2	6	8	5	1	1	2
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0



Математическая обработка изображения.

Subplane (fine) * - устранение общего наклона изображения: устранение наклона в кадре осуществляется путем вычитания из высот кадра в каждой точке X, Y высот уравнения плоскости Z= a×X + b×Y + c. Коэффициенты a, b и c в уравнении определяются методом наименьших квадратов из требования минимального отклонения от плоскости всех точек кадра.

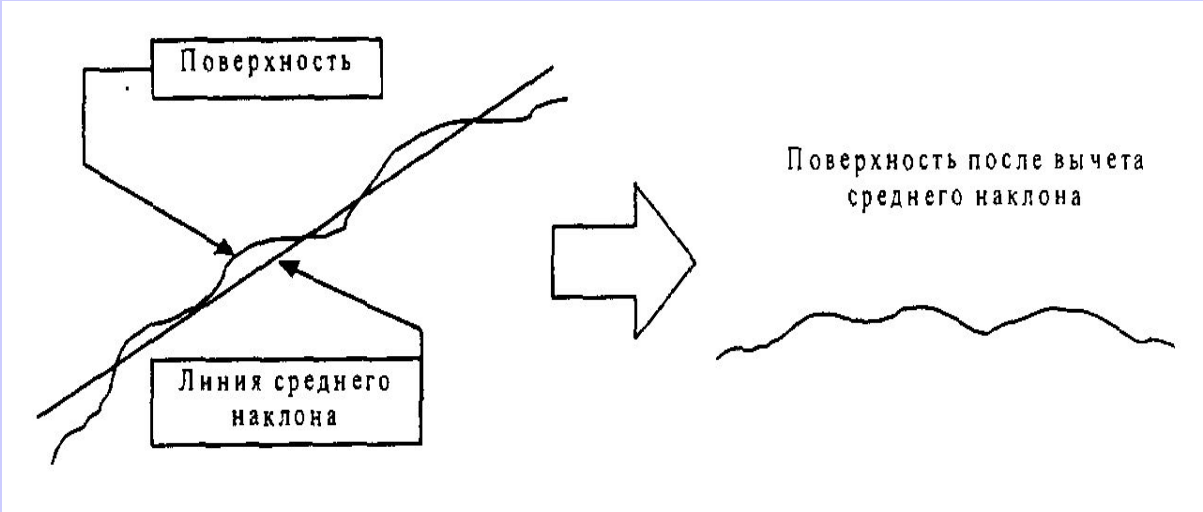
Step correction – операция корректирует сбои микроскопа типа «ступенька», проявляющихся в том, что в результате сбоя электроники две соседние строки сканирования могут значительно различаться по высоте: сначала вычисляется средняя высота (среднее Z) всего кадра. Далее кадр обрабатывается построчно. Каждая горизонтальная строка кадра (по X) сдвигается по Z (по высоте) так, чтобы средняя высота строки была равна средней высоте кадра.

Median 2D – медианная фильтрация используется для подавления случайных шумов: медианная фильтрация осуществляется следующим образом. Составляется список значений высоты (или яркости) точки и ее соседей согласно выбранному ядру (например, ядро 3×3 – точка и ее ближайшие соседи: 4 – ортогональных, 4 – диагональных). Список высот сортируется в порядке возрастания. В качестве нового значения высоты данной точки кадра из списка выбирается та высота, номер которой в отсортированном списке ближе всего к номеру, определяемому условием: n=(Nx×Ny-1)×(level/100), где Nx, Ny - размерность матрицы по x, y соответственно, level – уровень медианной фильтрации в % (задается пользователем, по умолчанию – 50).

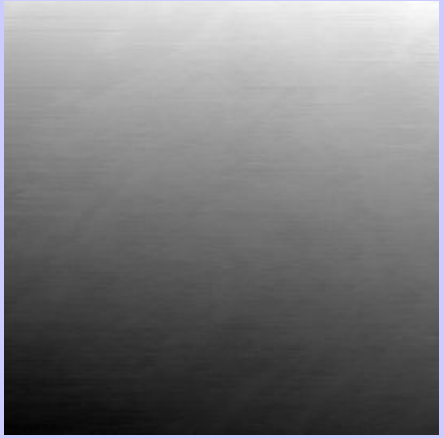
* названия, принятые в программе Scan Master.

Математическая обработка изображения.

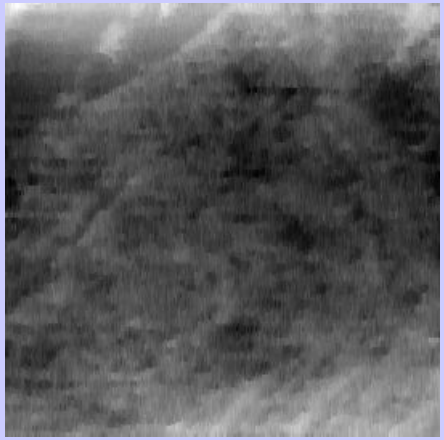
Вычитание среднего наклона



До процедуры



После процедуры



Математическая обработка изображения.

Subplane (fine) * - устранение общего наклона изображения: устранение наклона в кадре осуществляется путем вычитания из высот кадра в каждой точке X, Y высот уравнения плоскости Z= a×X + b×Y + c. Коэффициенты a, b и c в уравнении определяются методом наименьших квадратов из требования минимального отклонения от плоскости всех точек кадра.

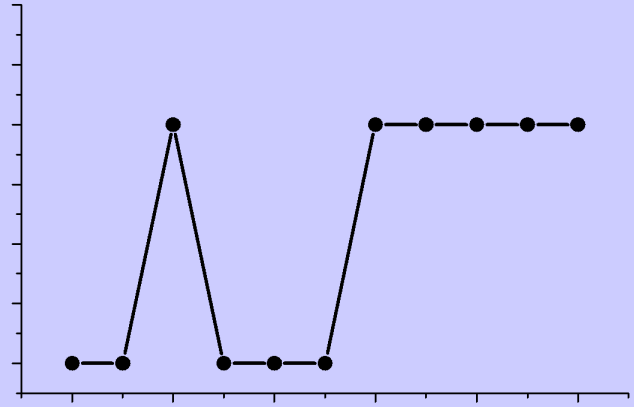
Step correction – операция корректирует сбои микроскопа типа «ступенька», проявляющихся в том, что в результате сбоя электроники две соседние строки сканирования могут значительно различаться по высоте: сначала вычисляется средняя высота (среднее Z) всего кадра. Далее кадр обрабатывается построчно. Каждая горизонтальная строка кадра (по X) сдвигается по Z (по высоте) так, чтобы средняя высота строки была равна средней высоте кадра.

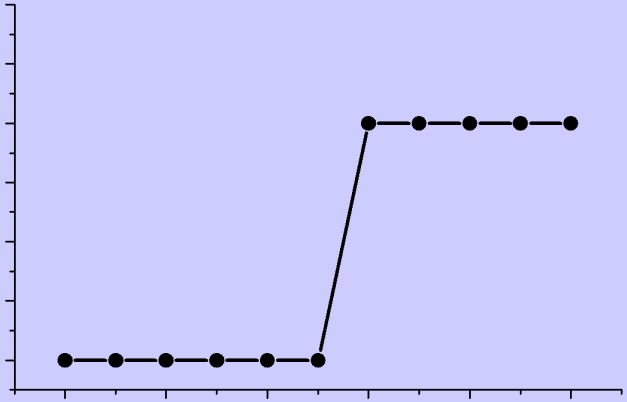
Median 2D – медианная фильтрация используется для подавления случайных шумов: медианная фильтрация осуществляется следующим образом. Составляется список значений высоты (или яркости) точки и ее соседей согласно выбранному ядру (например, ядро 3×3 – точка и ее ближайшие соседи: 4 – ортогональных, 4 – диагональных). Список высот сортируется в порядке возрастания. В качестве нового значения высоты данной точки кадра из списка выбирается та высота, номер которой в отсортированном списке ближе всего к номеру, определяемому условием: n=(Nx×Ny-1)×(level/100), где Nx, Ny - размерность матрицы по x, y соответственно, level – уровень медианной фильтрации в % (задается пользователем, по умолчанию – 50).

* названия, принятые в программе Scan Master.

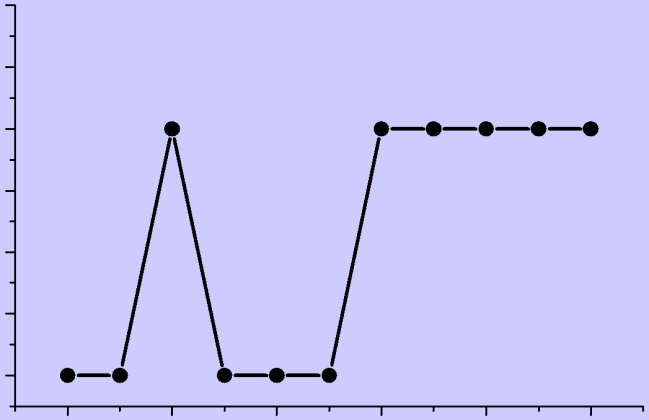
Математическая обработка изображения.

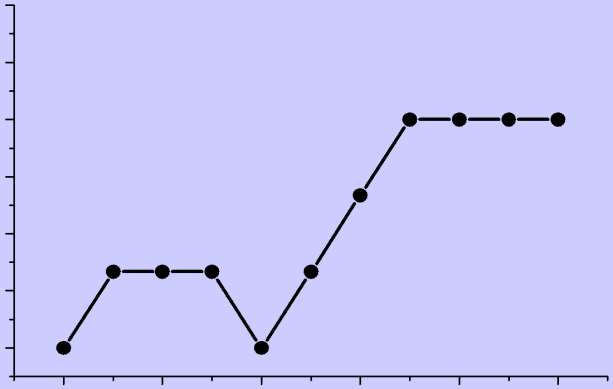
Медианная фильтрация





Усреднение





Математическая обработка изображения

Частотная область. Фурье фильтрация.

Фурье преобразование - кодирует информацию изображения в терминах частот в прототипе.

Для изображения, представленного в виде двумерной матрицы значений яркости $f(x,y)$, преобразование рассчитывается в виде:

$$F(u,v)= \int\int f(x,y)\exp[-2\pi i(ux- vy)]dxdy \ .$$

Переменные u и v - частоты.
В частотной области операция действия фильтра:

$$G(u,v)= H(u,v)*F\ (u,v),$$

где F, H и G - частотное преобразование, ядро и результат.

Производное изображение затем восстанавливается методом обратного преобразования.

Математическая обработка изображения

Фурье фильтрация

Приложение Scan Master использует для фильтрации фурье-образа фильтры **Баттерворта 1-ого, 2- ого, 4- ого или 8- ого порядка**.

Фильтрация проводится путем умножения Re и Im амплитуд фурье-образа на передаточную функцию фильтра:

new Im(fx,fy) = K(fx,fy)*[old Im(fx,fy)], new Re(fx,fy) = K(fx,fy)*[old Re(fx,fy)]

где K(fx,fy) - передаточная функция фильтра; fx, fy - частоты.

Передаточные функции являются вещественными.

n - порядок фильтра; f02 - квадрат частоты среза фильтра, т.е. частоты, на которой подавление фильтра равно 3 dB; (f0x, f0y) - центр полосы пропускания или подавления полосового фильтра или параметры фильтров осей x,y.

Передаточные функции используемых приложением фильтров

НЧ-фильтр: K1(fx,fy)=1/{1+0.414*[((fx*fx+fy*fy)/f02)**n]}

ВЧ-фильтр: K2(fx,fy)=1/{1+0.414*[(f02/(fx*fx+fy*fy))**n]}

Режекторный (полосовой подавляющий) фильтр:

K3(fx,fy)=1/{1+0.414*[f02/((fx-fx0)**2+(fy-fy0)**2)]**n}+1/{1+0.414*[f02/((fx+fx0)**2+(fy+fy0)**2)]**n }

Полосовой пропускающий фильтр:

K4(fx,fy)=1/{1+0.414*[((fx-fx0)**2+(fy-fy0)**2)/f02]**n}+1/{1+0.414*[((fx+fx0)**2+(fy+fy0)**2)/f02]**n }

НЧ-фильтр с подчеркиванием: K5(fx,fy)= K1(fx,fy)+1

ВЧ-фильтр с продчеркиванием: K6(fx,fy)= K2(fx,fy)+1

Полосовой пропускающий фильтр с подчеркиванием: K7(fx,fy)= K4(fx,fy)+1

Вырезание окрестности оси X: if fx0<fy0 or abs(fx)>fx0 K8(fx,fy)=1/{1+0.414*(fy0/fy)**(2n)} else K8(fx,fy)=K3(fx,fy).

В выражении для K3 следует последовательно заменить fy0 на 0, f02 на fy0**2.

Вырезание окрестности оси Y: if fx0>fy0 or abs(fy)>fy0 K9(fx,fy)=1/{1+0.414*(fx0/fx)**(2n)} else K8(fx,fy)=K3(fx,fy)

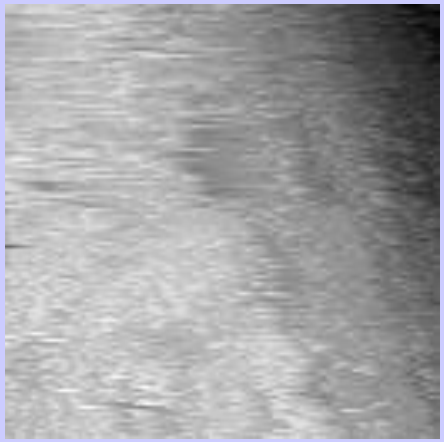
В выражении для K3 следует последовательно заменить fx0 на 0, f02 на fx0**2.

Нормализация фурье-образа после фильтрации с подчеркиванием K10(fx,fy)=1/2

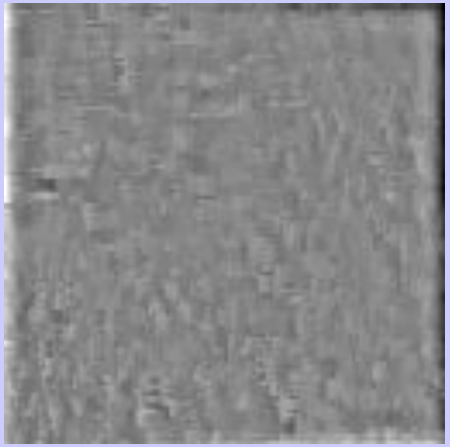
Математическая обработка изображения. Процедуры, полезные при обработке СТМ - изображений

Фурье фильтрация

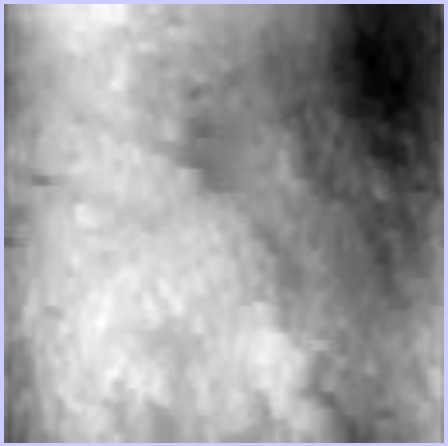
Исходное изображение



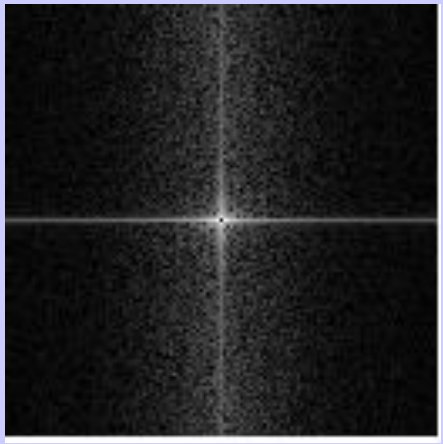
Использован High Pass Filter

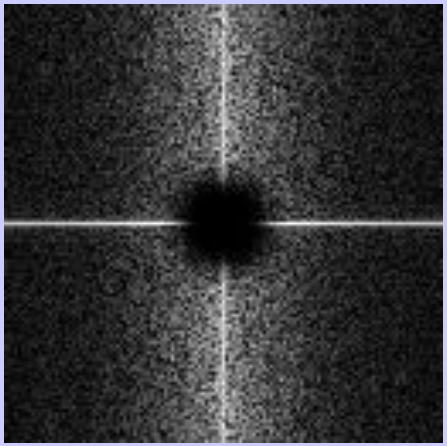


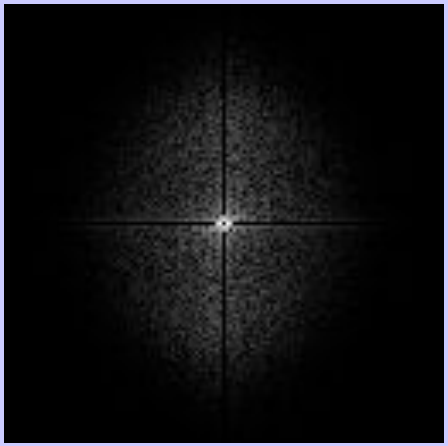
Использован Low Pass Filter и X,Y axis Filter



Фурье образ

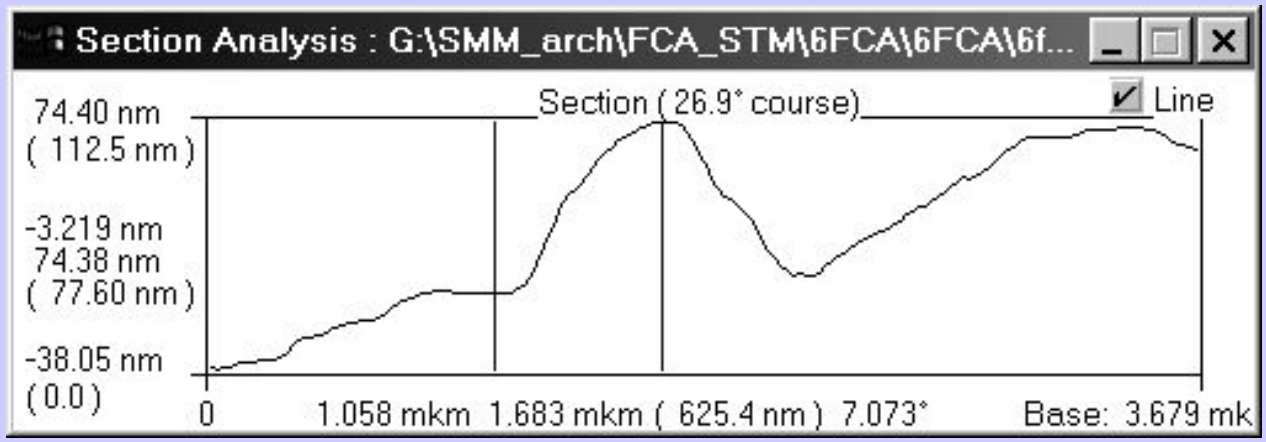






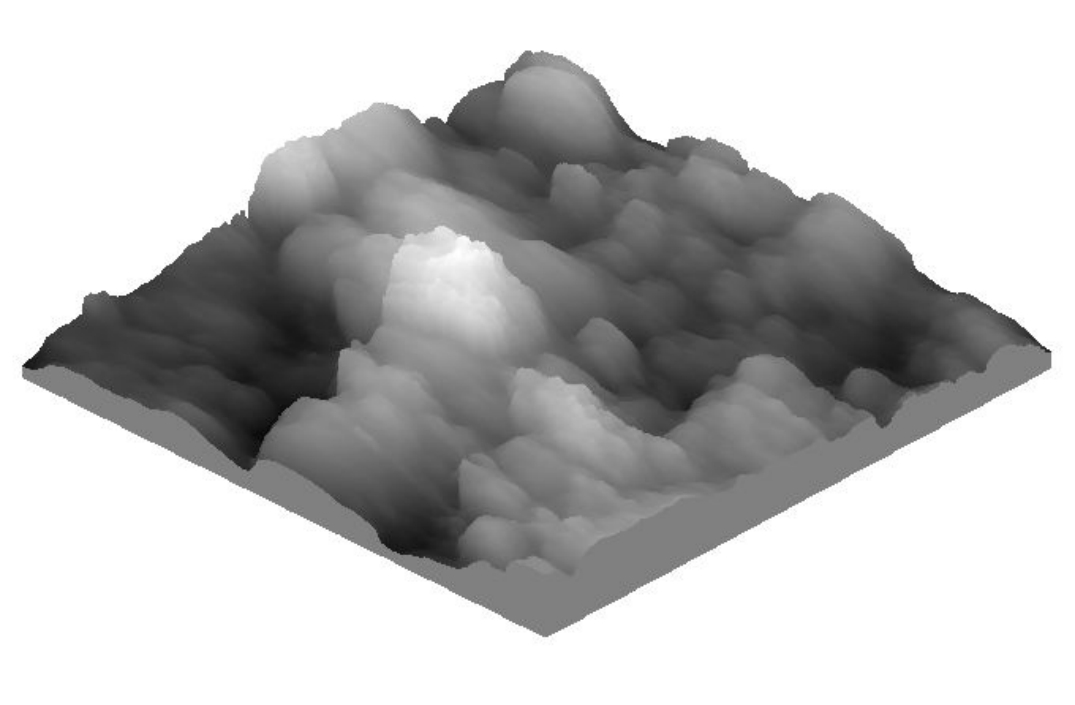
Математическая обработка изображения.

Построение профиля (Measure | Scan Section)

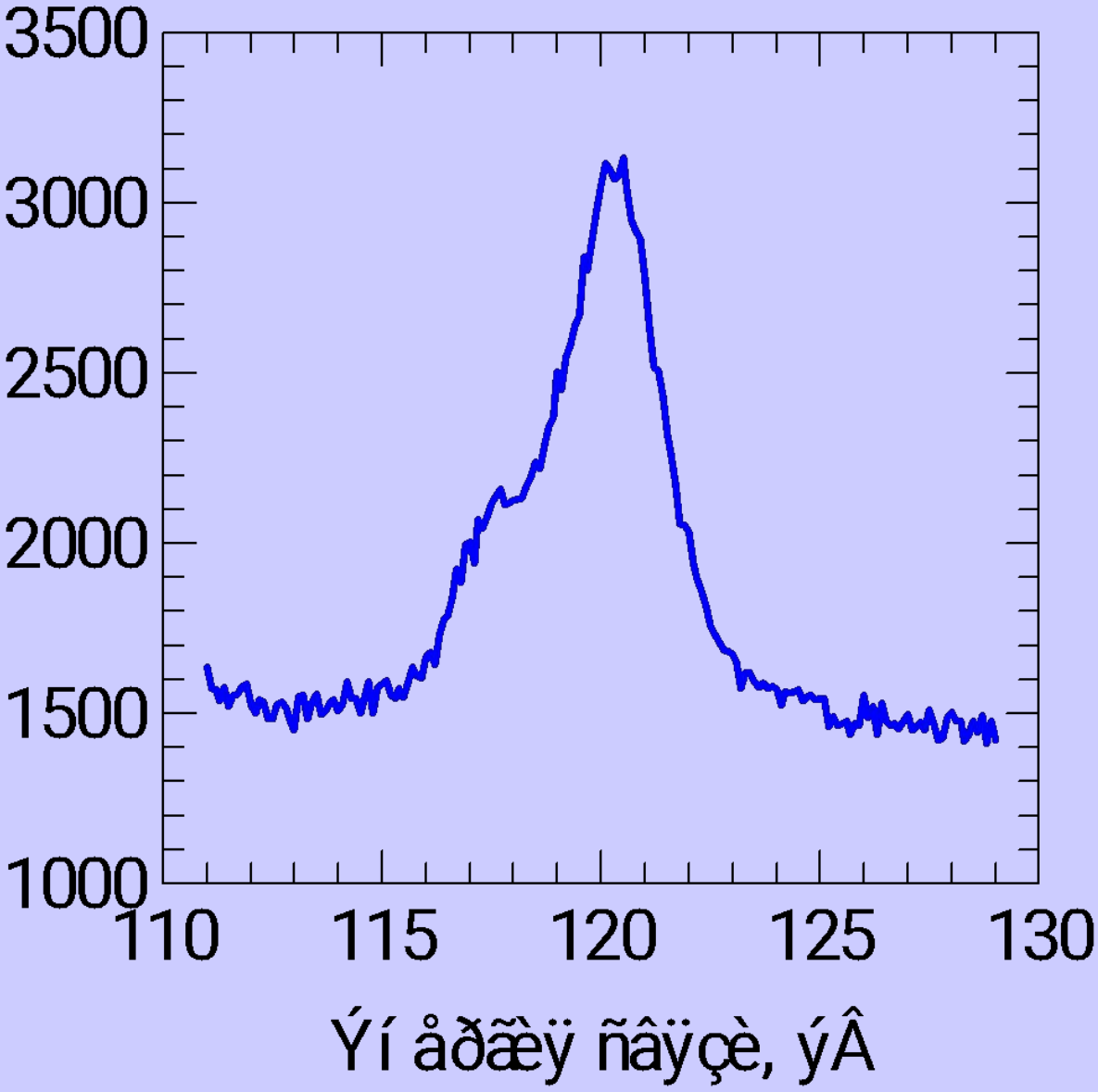


Математическая обработка изображения.

Построение 3D - изображения



Спектр РФЭС


3500
3000
2500
2000
1500
1000
110
115
120
125
130
Ýí åðæëÿ ñâÿçè, ýÂ