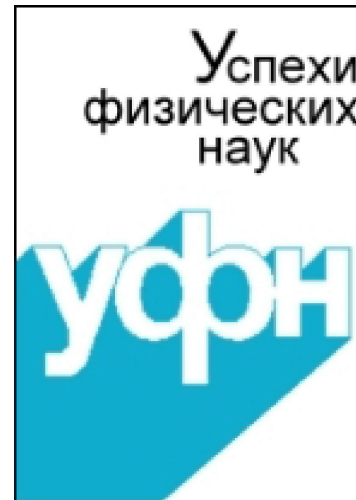


Основы высоковакуумной сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии, атомно-силовая микроскопия

План

- 1. Принципы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ)
- 2. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)
- 3. Сканирующая атомно-силовая микроскопия (АСМ)
- 4. Применение средств СЗМ в изучении наноматериалов и наноструктур, СЗМ-наноинженерия

Литература



Г. Бинниг, Г. Рорер,
«Сканирующая
туннельная
микроскопия — от
рождения к юности»,
УФН, 154 (2) (1988)

Scanning probe microscopy and spectroscopy: methods and applications by Roland Wiesendanger Cambridge University Press, 1994 ISBN 0521428475, 9780521428477

- **Scanning Probe Microscopy - Analytical Methods** by Roland Wiesendanger, Springer, 1998 ISBN 3540638156, 9783540638155
- **Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy : Theory, Techniques, and Applications** by Dawn Bonnell (Editor), Wiley-VCH, 2000
- **Scanning Probe Microscopy: The Lab on a Tip** by Ernst Meyer ,Hans Josef Hug, Roland Bennewitz, Springer-Verlag, 2003, ISBN: 3540431802
- **Основы сканирующей зондовой микроскопии**, Миронов В. Л., 2004. Твердый переплет. 144 с. цена : 186,00 руб (<https://www.books.ru/shop/books/230464>)
- Г. Бинниг, Г. Рорер, «Сканирующая туннельная микроскопия — от рождения к юности», УФН, 154 (2) (1988)
- <http://www.ntmdt.ru/spm-basics>
- <http://www.veeco.com/library/>
- <http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/>
- <http://www.nanoscience.de/group>

Оптический микроскоп



- Дифракционный предел разрешения:

$$d = \frac{\lambda}{2 n \sin \alpha} \approx \frac{\lambda}{2 NA}$$

$$NA = n \sin \theta$$

- апертура объектива 0.95 на воздухе, 1.5 в масле

Оптический микроскоп даже с самой совершенной оптикой не может различить об'екты меньшие половины длины световой волны: две параллельные линии, расположенные ближе чем $0.3 \mu\text{m}$, будут видны как одна линия.

Электронный микроскоп



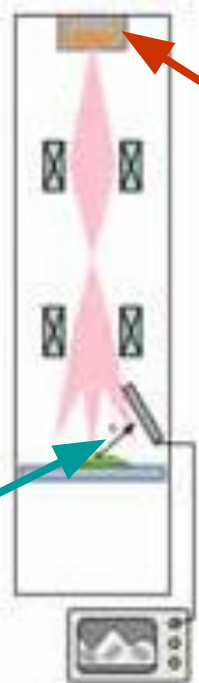
Макс Кноль,
Эрнст Руска
1931

Сканирующий
электронный
микроскоп

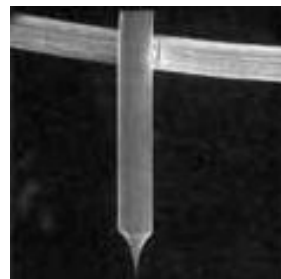
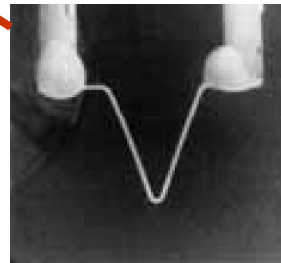
сканирующий
электронный
луч



фокусируемый
электронный
луч



$\lambda(\text{Angstroms}) =$



Дифракционный предел
разрешения:

$$d = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha} \approx \frac{\lambda}{2NA}$$

$$NA = n \sin \theta$$

Де-бройлевская длина волны
электрона $\lambda = h/p$:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 q V (1 + qV / 2m_0 c^2)}}$$

12.3

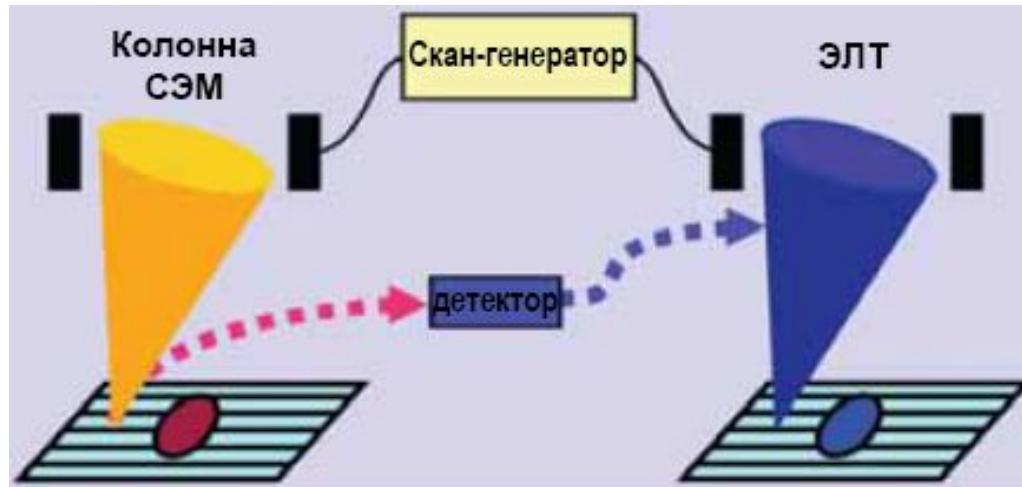
$$\lambda(\text{Angstroms}) = \frac{12.3}{\sqrt{V(\text{eV})(1 + 1.95 \times 10^{-6} V(\text{eV}))}}$$

E(KeV)	λ (Å)
10	0.123
20	0.0778
35	0.0657

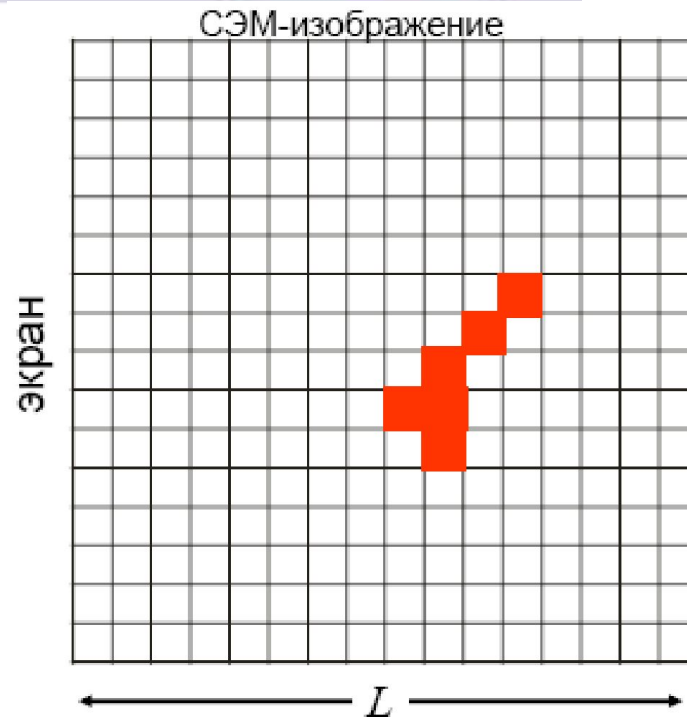
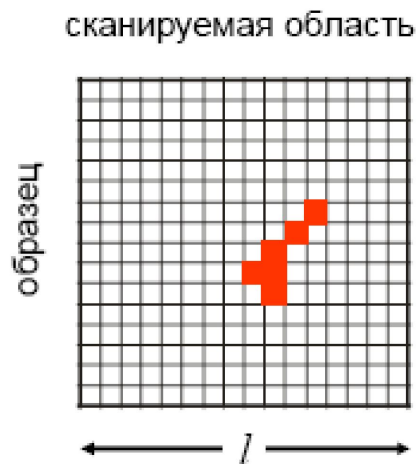
термоэлектронный
эмиттер

автоэлектронный
эмиттер

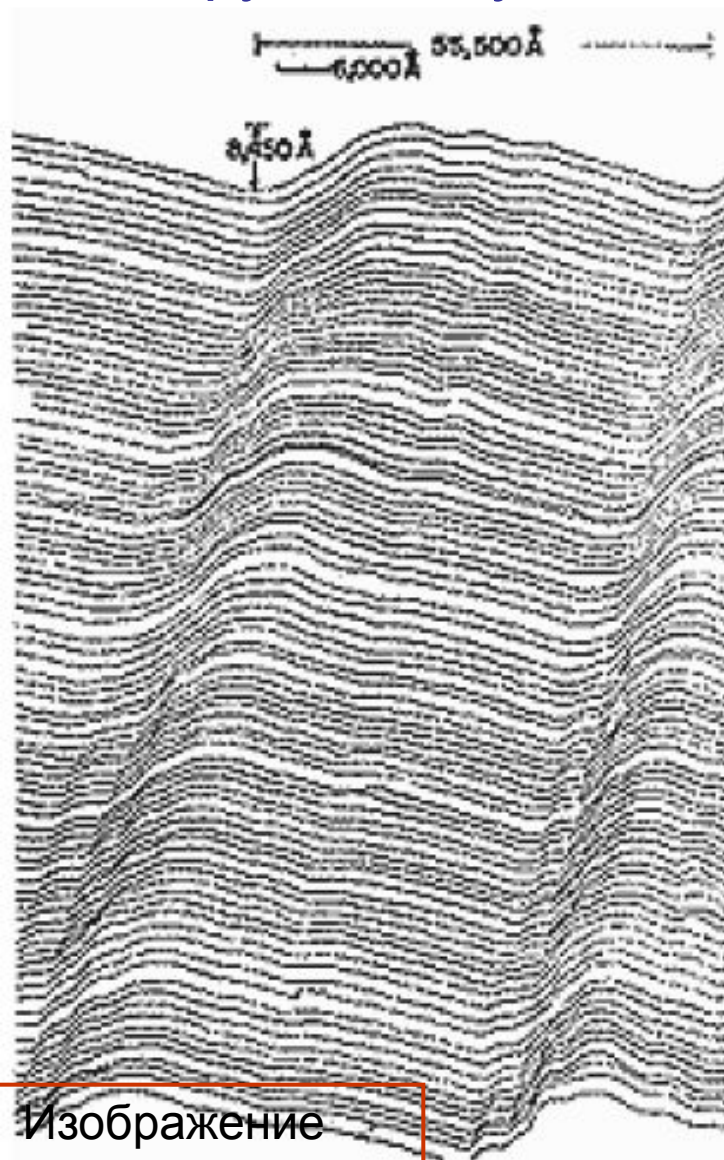
СЭМ: принцип сканирования



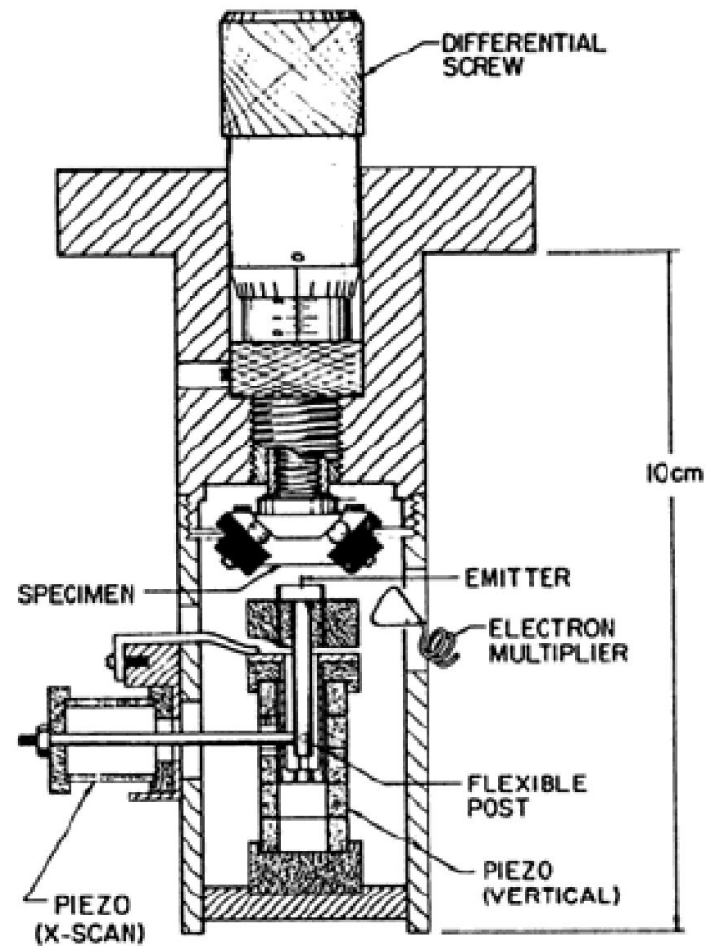
- Принцип сканирования:
увеличение $M = L/l$



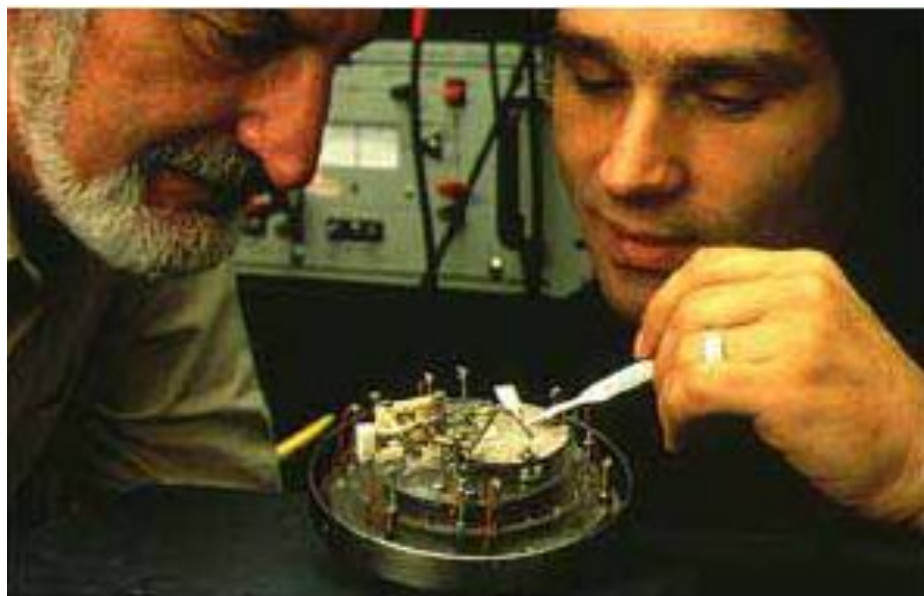
Сканирующий туннельный (зондовый) микроскоп



Изображение
дифракционной
решетки



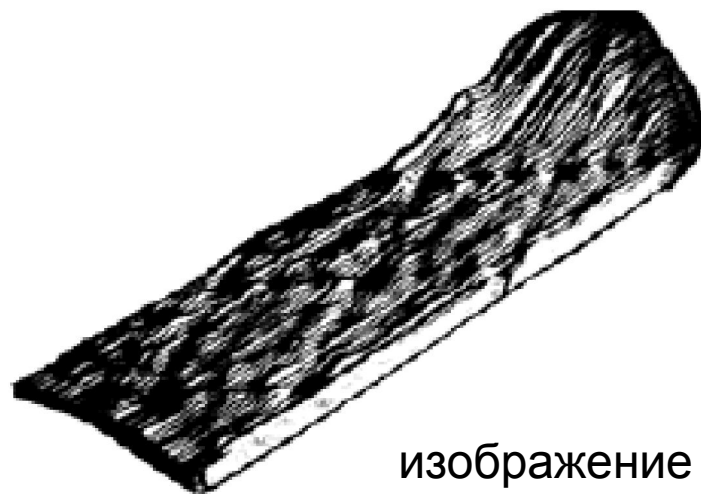
1982 – 1-й СТМ



Генрих Рорер Герд Бинниг



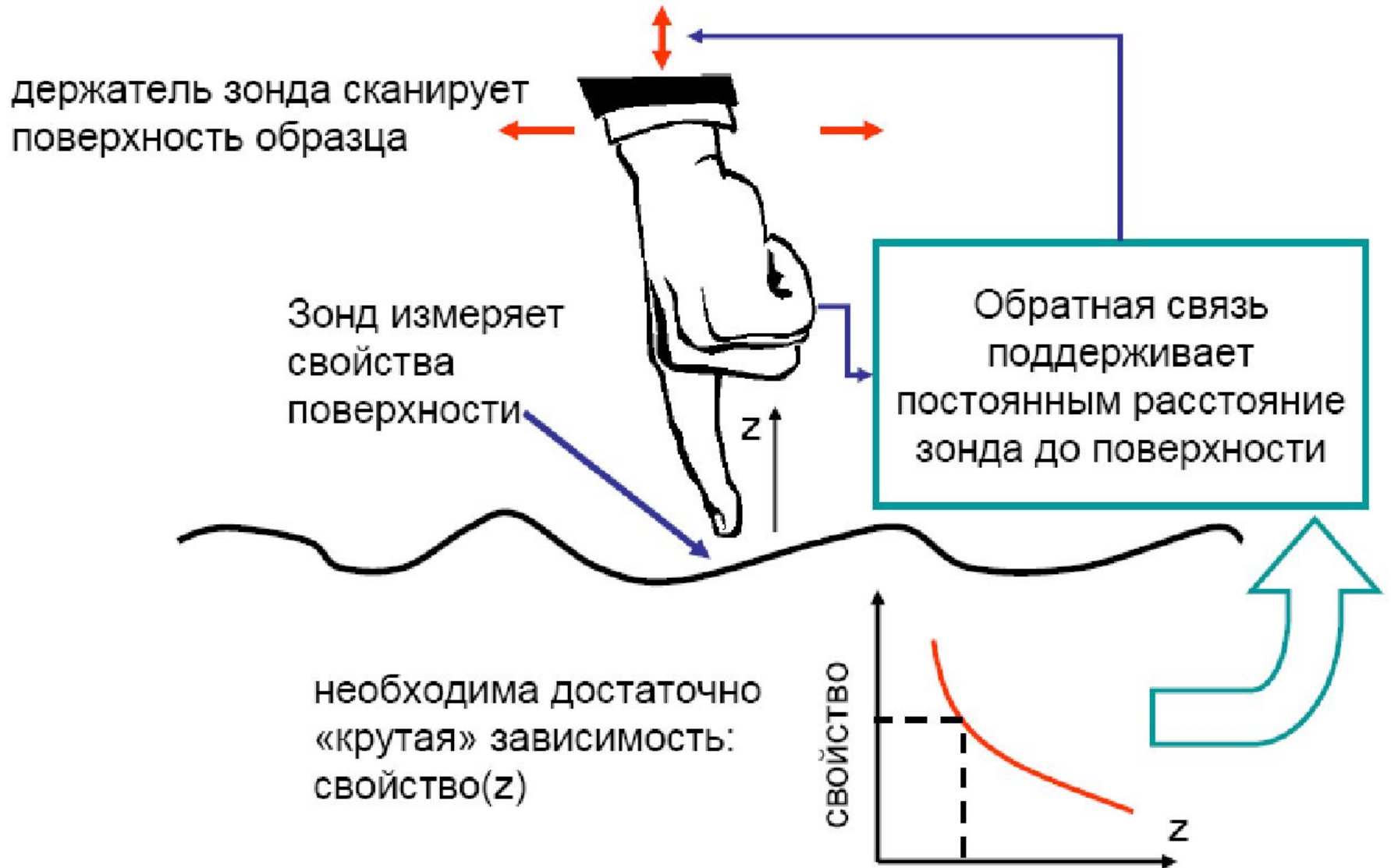
Нобелевская премия по физике (вместе с Эрнстом Руска) 1986



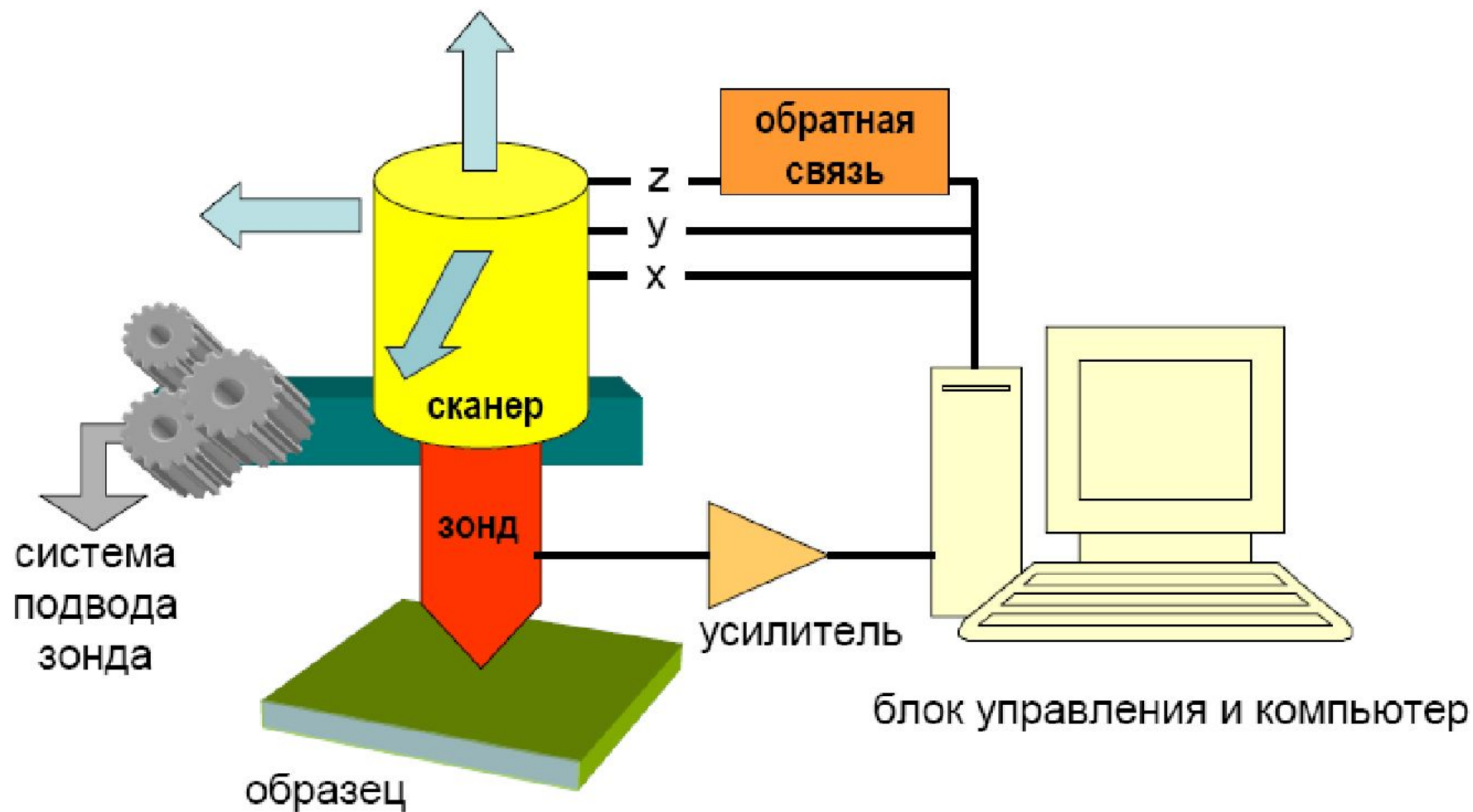
изображение
поверхности кремния с
атомным разрешением



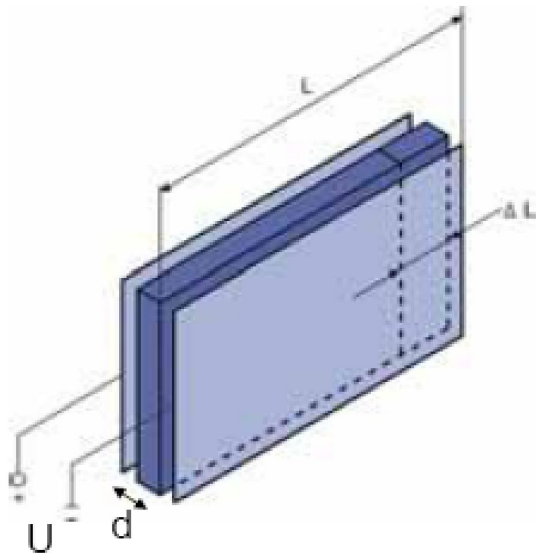
Что такое «сканирующий зонд»?



Основные элементы СЗМ

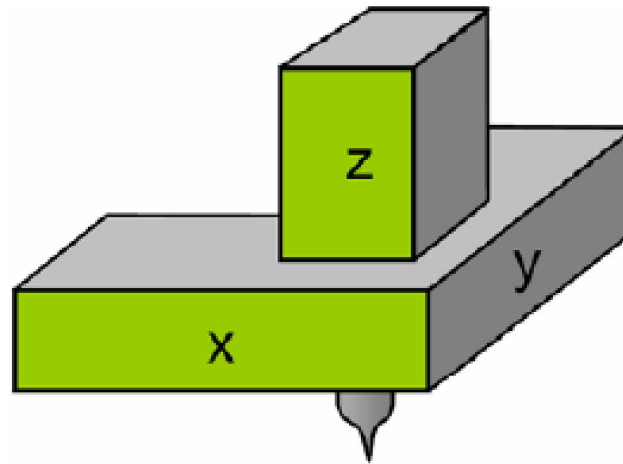


Пьезосканер

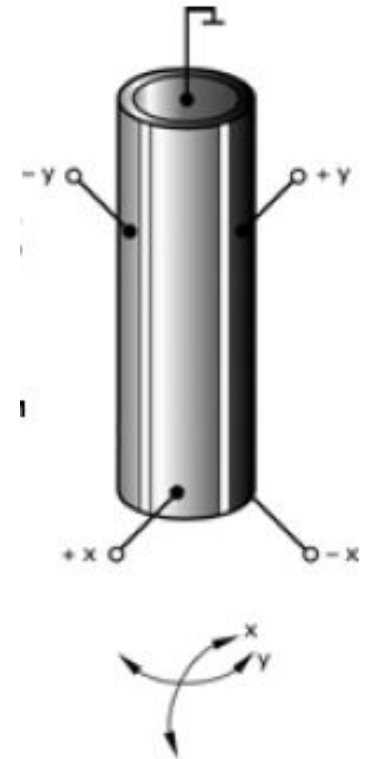


$$\Delta L \approx d_{31} L U / d$$

пьезокоэффициент $d_{31} \sim -200$ пм/В



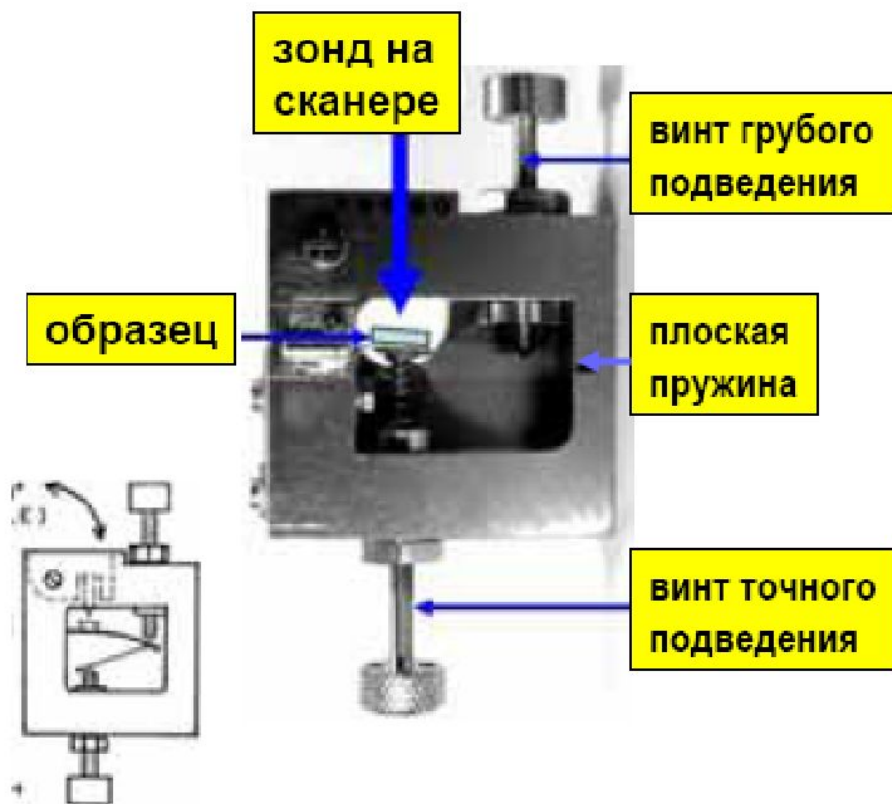
X-Y-Z-сканер



Пьезотрубка – самый
распространенный
X-Y-Z-сканер

Подведение зонда к образцу

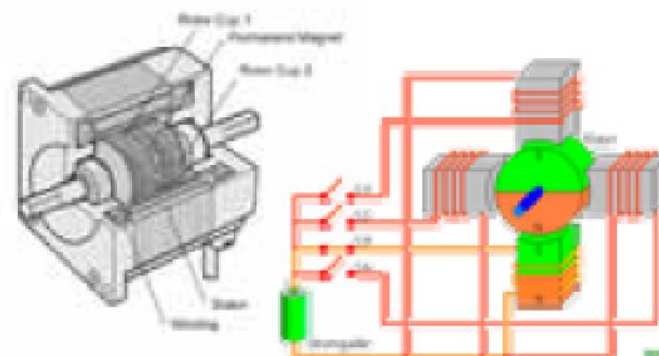
Механическая система



Электромагнитный шаговый двигатель



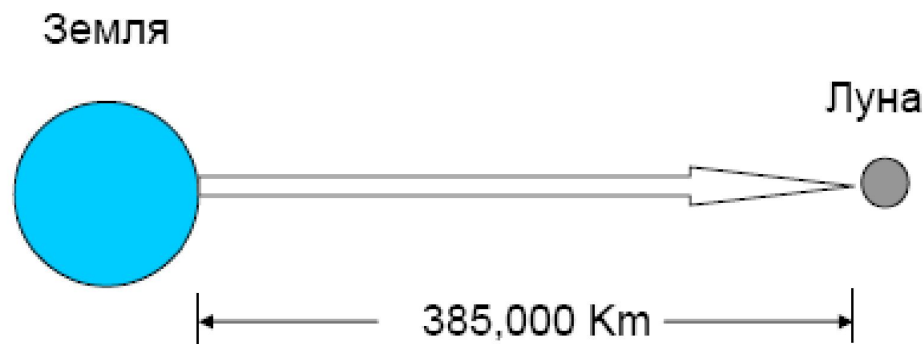
вращает винт точного подведения

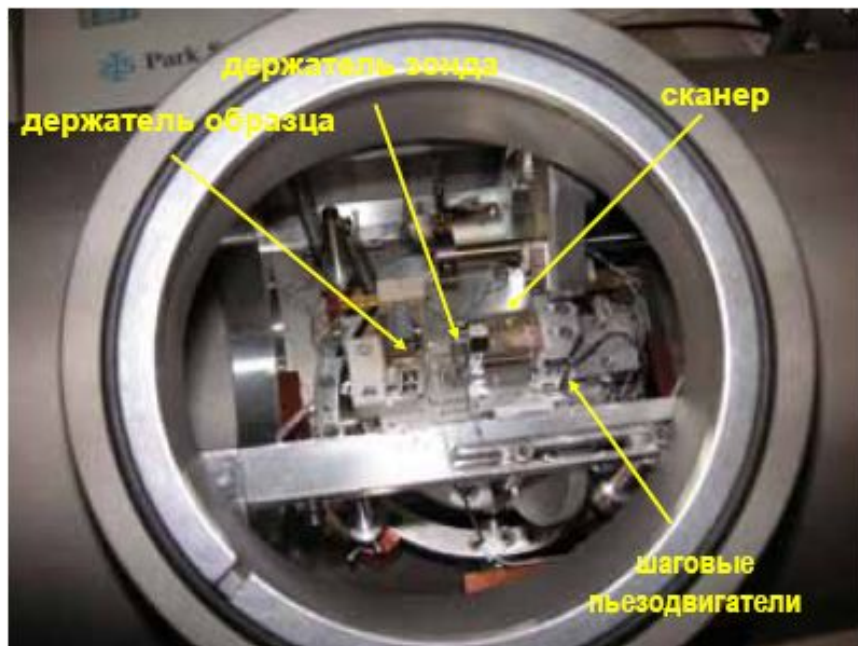


Алгоритм подведения зонда



- Подведение зонда к образцу с первоначального расстояния от поверхности 1мм до расстояния 0.1 нм (за 1 минуту) эквивалентно полету к Луне с остановкой на высоте 40м над ее поверхностью (со скоростью 23 миллионов км/час)





Примеры СЗМ и СТМ



миниатюрный **СТМ**
EasyScan
(NanoSurf)

Производство российской фирмы НТ МДТ

Головка
сверхвысоковакуумного
СЗМ "VP-2" (Veeco)

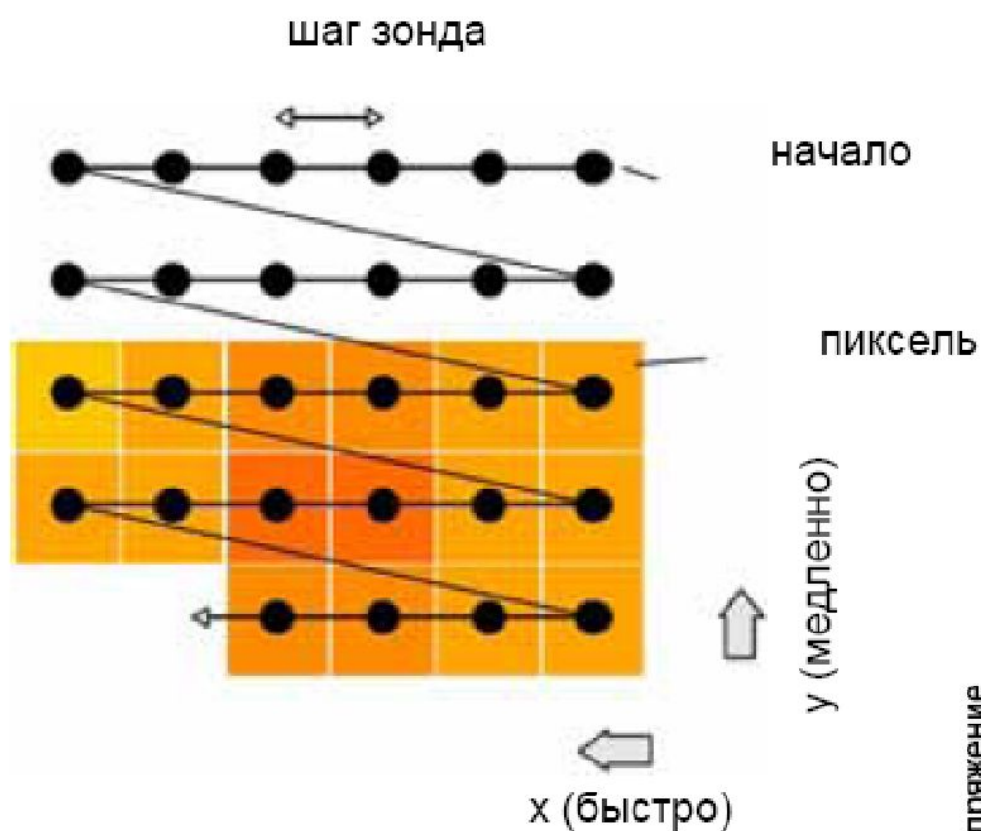


ИНТЕГРА

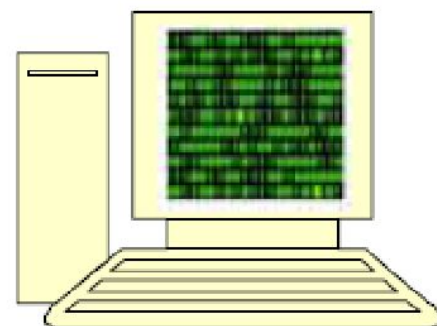


СОЛБЕР P47H-PRO

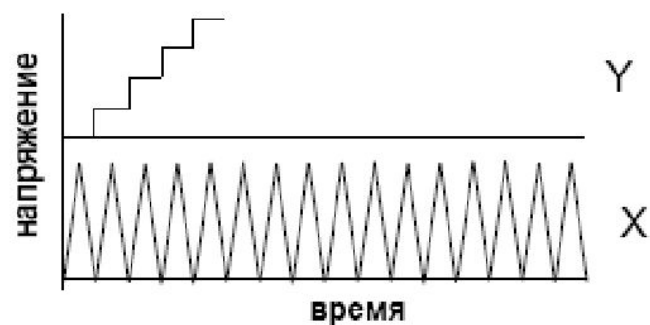
Принцип сканирования



метод раstra:



Компьютер управляет движением зонда вдоль поверхности и регистрирует полученные данные



Формат данных в СЗМ

- **HDF** - Hierarchical Data Format (Иерархический формат данных) разрабатываемый **The National Center for Supercomputing Applications** (<http://www.ncsa.uiuc.edu>) с 1987г. и довольно широко используемый в настоящее время научным сообществом: <http://www.hdfgroup.org/>
- Географические информационные системы (ГИС) и дистанционное зондирование Земли
- <http://gis-lab.info/docs/hdf.htm>

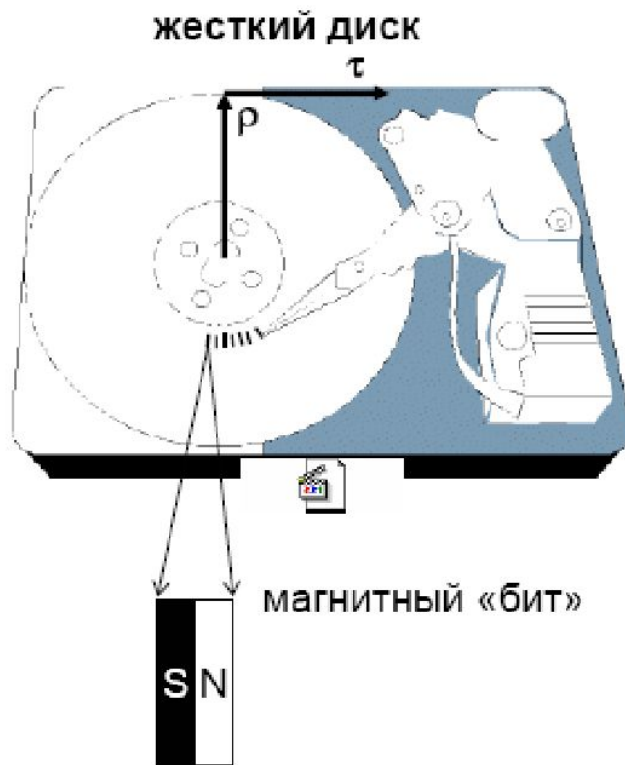
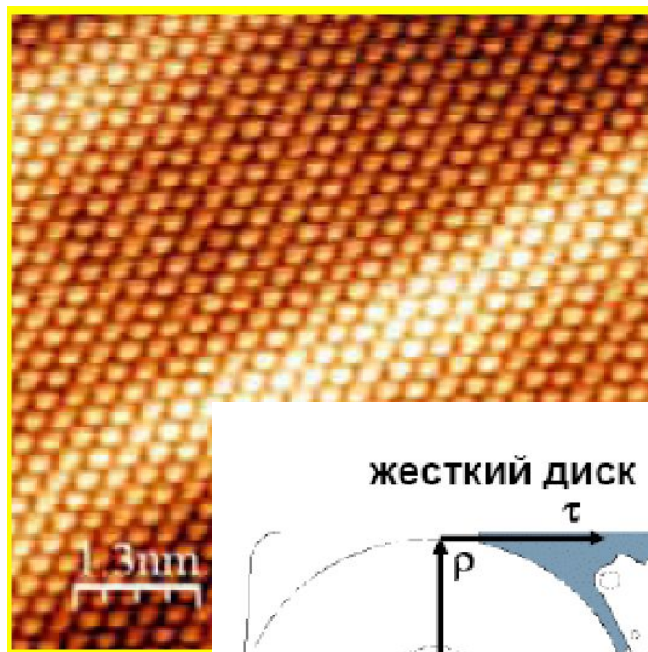
0	File Header magic number			
0	0x0E	0x03	0x13	0x01
	First Data Description Block			
4	# of DDS OFFSET to the next DDS			
4	20	0		
10	Tag	Ref Number	Offset to the data	Length of the data
10	DFTAG MT	0x4441	C	0
22	DFTAG PID	1	(Title)	256
34	DFTAG PD	1	(Comments)	2048
46	PSI VER	1	0x04 0x00 0x00 0x00	0
58	DFTAG TID	PSI VER	(Version)	256
70	DFTAG NDG	1	(Group)	24
82	DFTAG SDD	1	(Dimension)	22
94	DFTAG SDS	1	(Scale)	10
106	DFTAG SDU	1	(Units)	64
118	DFTAG SOM	1	(MinMax)	8
130	DFTAG CAL	1	(Calibration)	36
142	DFTAG SD	1	(Data)	256x256
154	DFTAG DIA	1	(Annotation)	4096
166	DFTAG NT	256	(DataNumType)	4
178	DFTAG NT	257	(XNumType)	4
190	DFTAG NT	258	(YNumType)	4
202	DFTAG NULL	0	0	0
214	DFTAG NULL	0	0	0
226	DFTAG NULL	0	0	0
238	DFTAG NULL	0	0	0
244	(Group)			
	DFTAG SDD	1	DFTAG SDS	1
	DFTAG SDU	1	DFTAG SOM	1
	DFTAG CAL	1	DFTAG SD	1
256	(Dimension)			
	2	# of columns	# of rows	DFTAG NT
	257	DFTAG NT	258	DFTAG NT
290	(DataNumType)			
	1	1	16	0
302	(Scale)			
	1	1	fxScanSize	fyScanSize
312	(Units)			
	// Micron/OMicron/0			
324	(MinMax)			
	nMax	nMin		
336	(Calibration)			
348	dfCal		dfCalError	
	dfOffset		dfOffsetError	
	DFTNT FLOAT32			
7936	(Version)			
	//Park Scientific Instruments Version Number Tag			
8192	(Title)			
	//File title goes here			
8448	(Annotation) // Text area			
	Version number =			
	Hardware =			
	Data source =			
	Scan Direction =	XY axis swap =	Scan Up =	
	# of Cols =	# of rows =		
	Filter =			
	X Scan size =	Y Scan Size =	X Scan Offset =	YScan Offset =
	Scan Rate =			
	Imaging mode =			
	Force =	Current =	Disc velocity =	
	Data gain =	Data Unit =		
14336	(Comments)			
	//User comments			
16384	(Data)			
	[-> 2D data block			

какой «скан»?

параметры

данные

Представление СЗМ данных



МСМ изображение одного бита
записанной информации

