



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Курс лекций

«Метрология и технические измерения в производстве ЭС»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Курс лекций

«Метрология и технические измерения в производстве ЭС»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Курс лекций «Метрология и технические измерения в производстве ЭС» /
Коллектив авторов –
М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 73 с.: ил.

В курсе лекций рассмотрены основные этапы курса «Метрология и технические измерения в производстве ЭС».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

АННОТАЦИЯ

В курсе лекций рассмотрены основные темы курса «Метрология и технические измерения в производстве ЭС» такие как: виды измерительных приборов, предназначенных для измерения геометрических величин, приборы и способы измерения номиналов электронной радио аппаратуры на примере резисторов, законы распределения погрешностей и зависимость точности измерения погрешности от количества измерений.

ANNOTATION

The course of lectures addressed the main themes of the course "Metrology and measurement technology in the production of ES 'such as: types of measuring instruments for measuring geometric quantities, instruments and methods of measuring radio ratings electronic equipment for example resistors, the laws of distribution of errors and the dependence of the accuracy of the measurement error of number of measurements.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭС	7
1.1 Лекция 1.....	7
1.2 Лекция 2.....	11
1.3 Лекция 3.....	16
1.4 Лекция 4.....	20
1.5 Лекция 5.....	24
1.6 Лекция 6.....	28
1.7 Лекция 7.....	32
1.8 Лекция 8.....	35
1.9 Лекция 9.....	40
1.10 Лекция 10.....	44
1.11 Лекция 11.....	48
1.12 Лекция 12.....	55
1.13 Лекция 13.....	59
ВЫВОДЫ.....	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	73

ВВЕДЕНИЕ

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Колядой Ю. Б. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к зачету по предмету «Метрология и технические измерения в производстве ЭС».

1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭС

Лекция №1

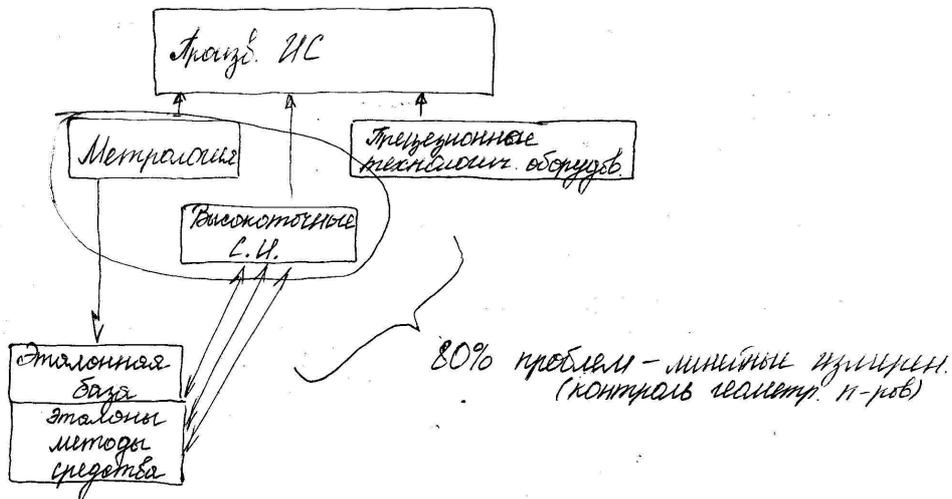
(06.09.2007)

Метрология и техн. измерения в производстве ЭС.
 МТИЧ "Метрология"
 кафедра Юрий Борисович
 (лек, лаб, ПК 1,2) → зачет.

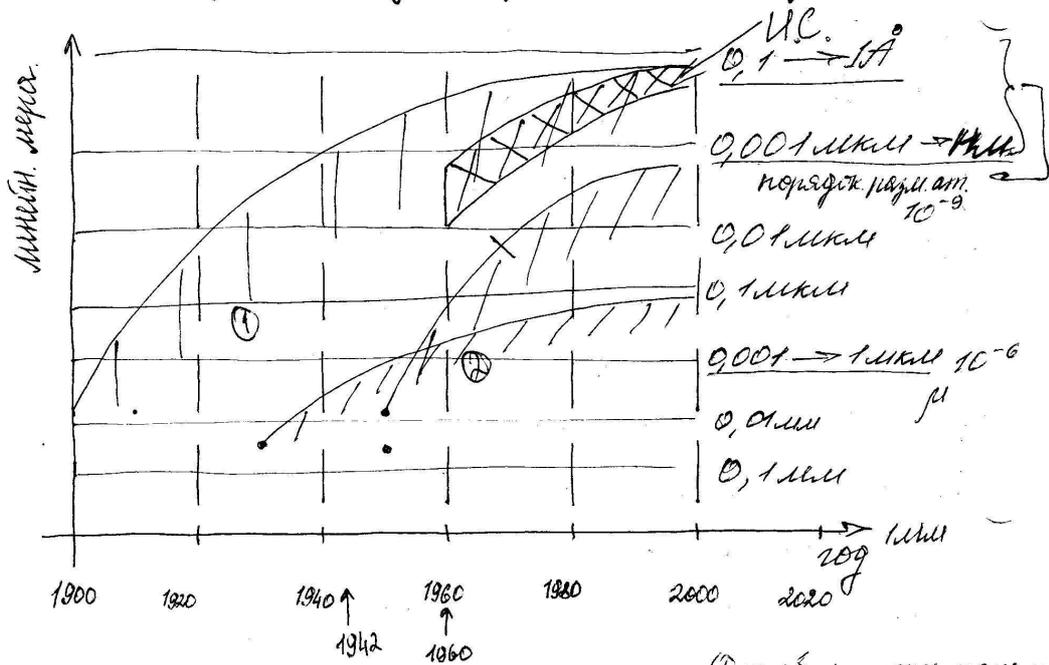
- Сазанов А.А. "Измерен. и контроль в м-э"
- Калишко В.М. "Контроль в технол. м-э"
- Кудряшов В.А. "Измерения в электронике"
- Шенк Д. "Теория измерений жеперим."
- Моряхов О.С. "Эллионная обработка"
- Клоаасен К.Б. "Основы измерений"

Основное содержание курса.

✦ Электронные средства, С.И. - средства измерения
 микроаналит.
 Матричные ИС
 Технические измер.



Эволюция предельн. знач. погрешн. измост.



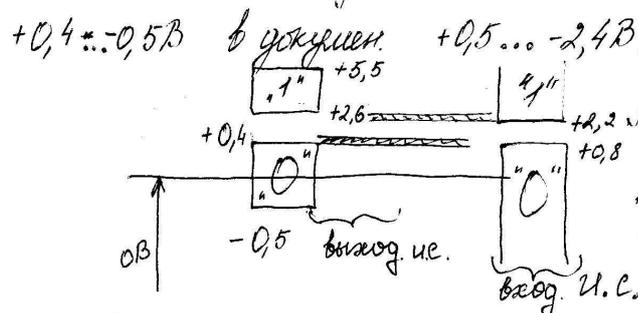
1942 - Bell ^{Bell} Tleson изобрет транзистора
 1960 - Начало произв. И.С.

- ① треб. к точн. измерн. параметров.
- ② треб. к точн. производн. детал. в машинах и приб. строит.

Требов. к точности воспроизв.

„0“ и „1“ в логич. елем. ТТМЛ.

„0“ - низкий потенциал СВ бытвой упр. „1“ - высокий. +5В.



любоеимая форма +2,2В чит. как. единица;
 любой сигнал выше 0,8 \rightarrow 0
 точность воспроизв. логич. 0 и 1 на 80% сред. технологич. параметр. параметров.

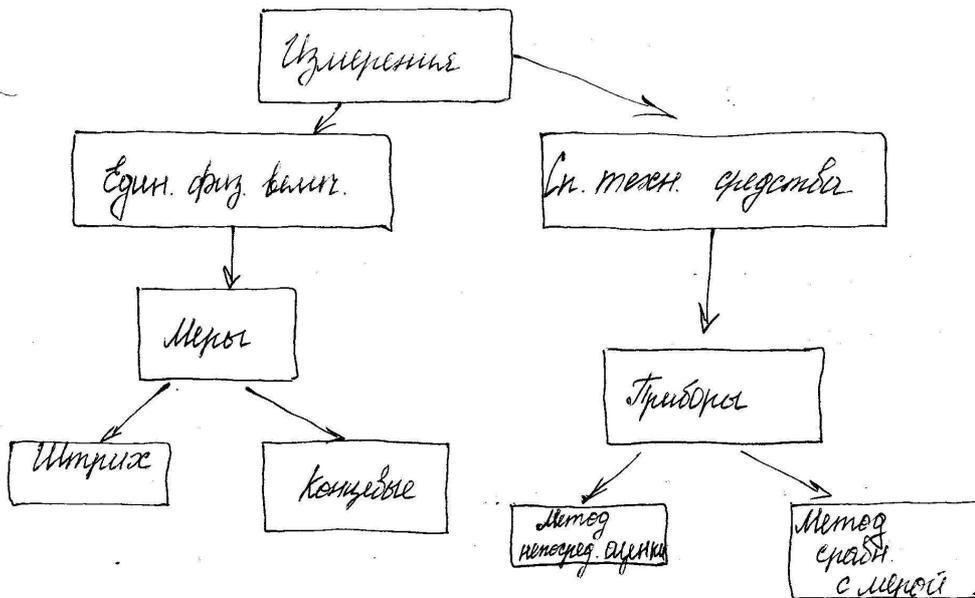
Толерантность ТТМЛ: 0,4В - амплитуда наимен. при кот. еще не происходит сбоя.

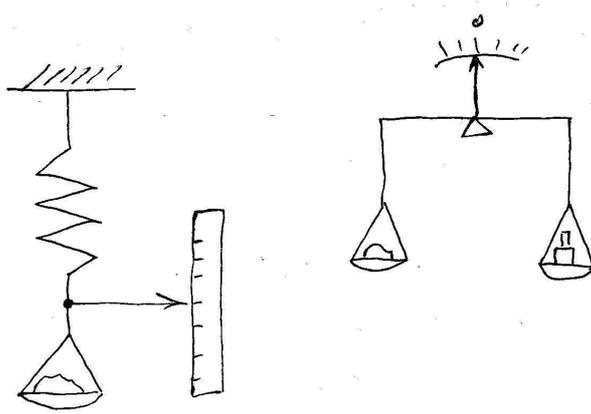
Проблема произв. И.С. : обл. ① как правило не дост. объема
 - эталон. базой мерам и средствами измерения, тогда как
 в области ② перичисленное определяет произв.

Основы метрологии.

Метрология - наука об изм. метод. и сред. обеспечения их единств. и способов польз. треб. точности.

Измерение	Единиц. изм.	Точность
- Нахождение знач. физич. величины с помощью спец. технич. средств.	Такое сист. измерение при котором изм. узаконен. един. и извест. погрешн. измер.	Точность количеств. измер. поцелимостью Погрешн. - разность между результатом измер. и истинн. разм. изм. величины.



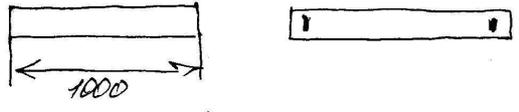
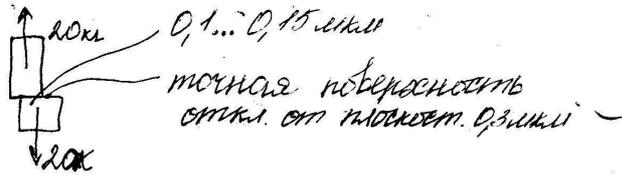


Концевые меры

1900г. Ларите Йохансон

1мм	1.001	1.002	...
1мм	1.005	1.01	...

100мм



Плоскопараллельные концевые меры.

Классы и разряды к.м.

Класс точности к.м. - определяет допуск на изготовление кот. указан в таблице (в.мет.)

Разряд конь. ^{мер.} - откл. погрешн. аттест. к.м.

Купленный набор конь. мер за ден. плату может быть аттестован. В аттестате указывается действ. размер конь. меры

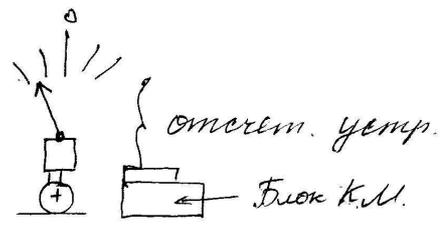
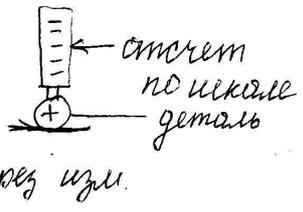
Набор к.м. может быть изготов. "по классу" или "по аттестату"

↓
с учетом действ. разд.

Методы измерений.

1. Метод непосредств. сравн. (лаб. 2.1)
2. Метод сравнения в тисках (лаб. 2.2)

4.



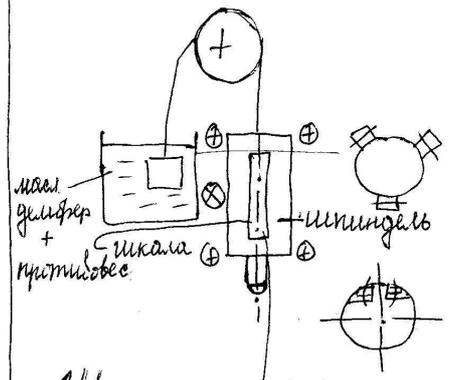
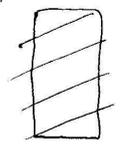
результ. = отсчет + р-м блока К.М.

Лекция №2

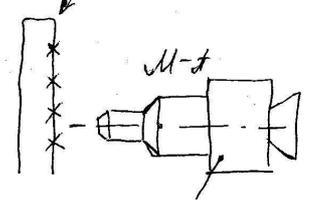
(13.04.2007)

Конструкт. реш. изм.

Метод. измер. длины



Шт. цена д. 0,1;
Вз. мин. цд. 0,0001;



интервалметр
+ устр. надеж. на ширине

И. служит для длины
шкала шкалы - 1 мм
на 1000 частей.

Метод. сравн. с мерой

Миллиметр



$$K_{ув} = \frac{200}{0,2} = 1000;$$

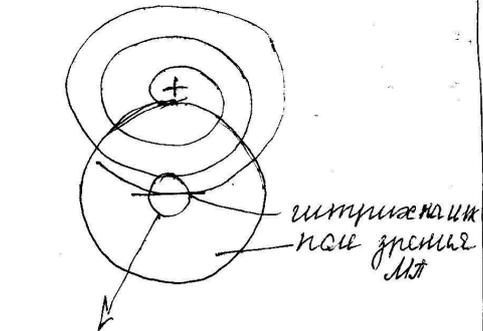
± 20 мкм

0,2 мм

Вертикальный отсчет



± 100 мкм



$a = b$
 условие совпадения
 начала отсчета микрометра
 со штрихом шкалы

Рез. измерен. отсчет по шкале прибора

Рез. изм. сумма разл. блка концев. мер и отсчета по шкале прибора

⊕: Обративность
Низкая клас. персонала

⊖: Высокая стоимость
Большой вес

⊕: Возм. вернуть точность и точн. измерение на кон. меру треб. точности

⊖: Ротская клас. операт. несбл. для раб. в кон. мерении и приборам

Метрологическ. α -ки средств изм.

1) Предел допускаемой погрешн. (выборка!)

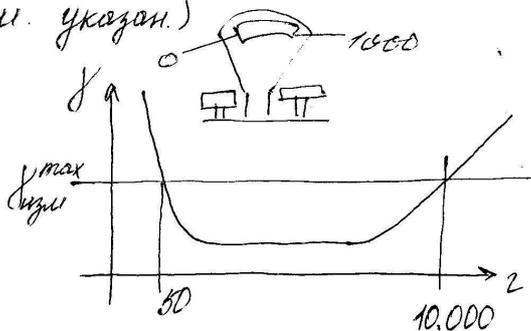
- | 2) Диапазон изм.
- | 3) Диапазон показ.
- | 4) Измерительная сила
- | 5) Цена деления

Важнейш. α -ка погрешн. прибора:

"предел доп. погрешн. средств изм."

Наибольшие зн. погрешн. средств изм. при кот. оно ~~не~~ может быть допущено к использованию.

Диапазон измерен: область знач. измер. значений в пред. которой нормир. погрешн. средства измер. (кот погрешн. не превыш. указан.)



Шкала показ: область знач. измер. в-тов, для кот ~~нельзя~~ огранич. началом и конечн. знач. шкалы.

Вертик. диаметр:

Ф.п. 0..100 мм

Ф.и. с..200 мм - измер. к. м.

~~Нет~~

Измерит. усиле :

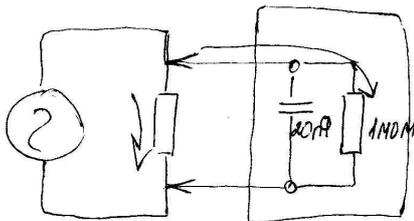
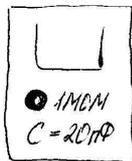
Микрометр: 700г

Верт. динн: 50, 150г — шенные цуфы

Оптиметр: 150г

При электрических изм. эффект возд. среды на изм. на объект. изм. характ. пометил: „Импеданс“ →
капитанное вводное сопротивление прибор. ($R_{вх}, R_c, R_s$)

При любых изм. средстве изм. возд. на изм. в-ну. вносе в результат. изм. термин.



Цена деления: величина перем. изм. на конечную
возд. перемещ. стрелки на 1 деление.

Точность измерения

Точность измерения ≠ точность прибора!

Точность изм. — количество погрешности

Точность изм. — количество погрешности

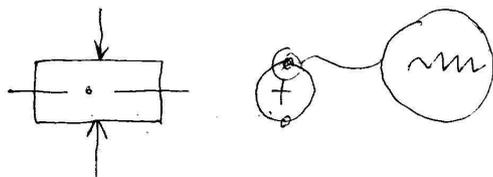
Нельзя точно характеризовать цифрой с точкой запятой. град.
показ. этих терминов. (Нельзя говорить: „точность мм“)

В быт. практ. это правило нест. наруш.

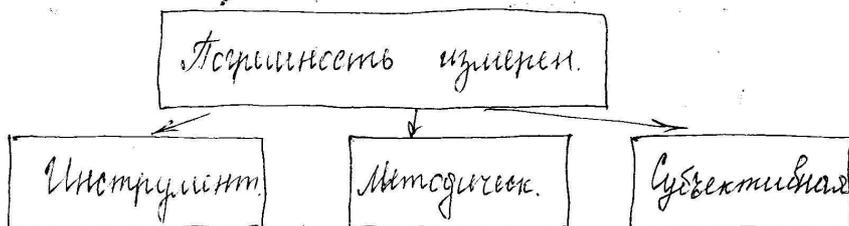
8

Точность — разность между результатом и истин.
значением измер. величины.

Истинное значен. изм. в-нос - абстрактн. понятие к
 - познанию кот. выльк стрелитая повши техн.
 мер приборов и методов измерения.
 Ист. знач. изм. в-нос неизменяемо.



Вместо истин. размера шпильку т.н. "действит. размер"
 Действ. разм. - разм. помер. жеприми с погрешн. прибор.
 малой для дан. случая.
 Обычно погрешн. отруд. действ. разм на порядок
 меньше погрешн. процес. измер.



Погрешность
 прилад. прибору
 указ. в паспорте
 и впрод. мете
 приборе в
 поверочной схем
 зей величину
 это погрешн.
 отвечает.
 ив: ачуба
 повржи или
 процес. приб.

0,7

Погрешн. кот.
 не может быть
 приписана
 прибору и
 студент.
 выбран. мет.
 измерен.
 зей велич.
 отвечает
 жеприми. стандарт.

0,3

Погрешность
 внесенная студент.
 (не связан с его квали.)

Прим: удобн. стелит.
 учтр. поскит
 ретосит - утисмяны.

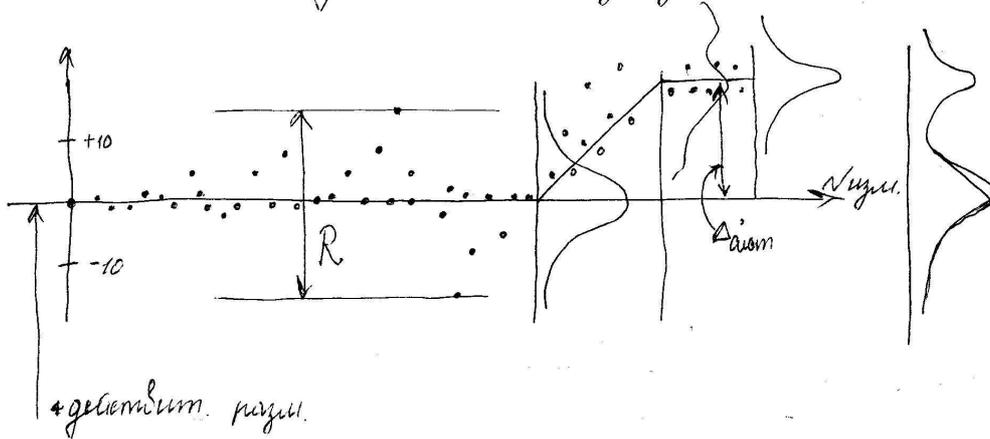
— Лекция №3 (20.03.2007) —

Вероятности, характ. точности измерений

Аппаративная погреш. — погр. по величине и знаку
или неизм. по издеств. закону

Случ. погреш. — погреш. изм. величину и знак от измерен.
к измерению.

Полная дисперсия рез. измерен.



Вероятности, характеристики

1) Результ. измер. внутри. внутри диапазона рассеяния:

$$R_{x_{max}} \gg R \gg R_{min} \quad R_x = X_{max} - X_{min}$$

2) Рез. изм. групп. вокруг. среднее

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

3) Каждое измер. характ. погреш.

$$\Delta_i = x_i - \bar{x}$$

4) Чем чет. характ. рассеяния изм. тем

является дисперсия

$$\sigma^2 = \frac{\sum (\Delta_i)^2}{n}$$

На практике кон. размеры во 2 степ., поэтому
кон. т.н. среднее квадратическое отклонение (СКО)

СКО $\rightarrow \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$ $n \rightarrow \infty$; теоретическое значение СКО

$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ $n = 5..20$; выборочное значение СКО

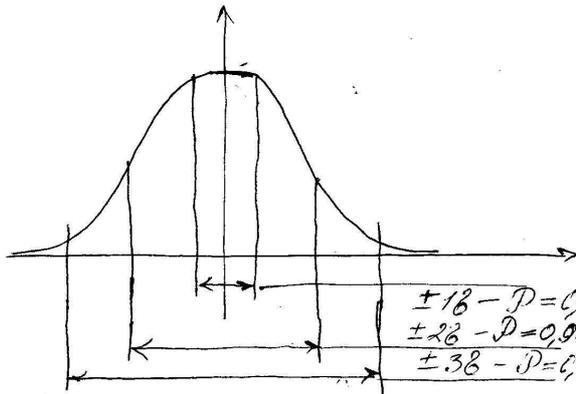
Генеральн. совокупн. - бесконечное количество измерений.

Выборка - не имеет генеральной совокупности.

- при $n \rightarrow \infty$ обе оценки (s и σ) совпадают по величине.

σ -тр σ и различия законов распред.

1. Закон Гаусса (нормальный закон)



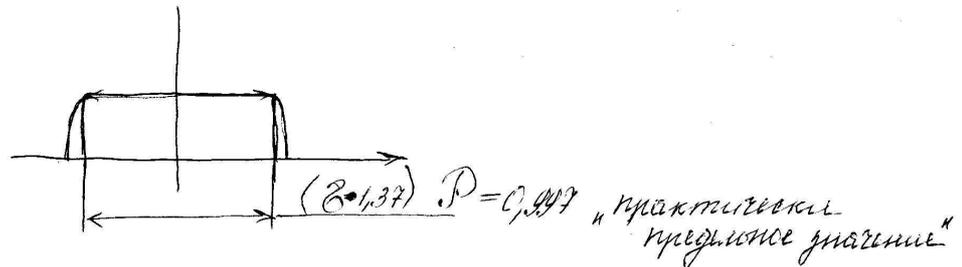
Доверит. t -ть - вероятн. того, что n -т измерен
ни выйдет за гран. указ. доверит. интервала.

Машиностроен. $\pm 3\sigma$
(точность)

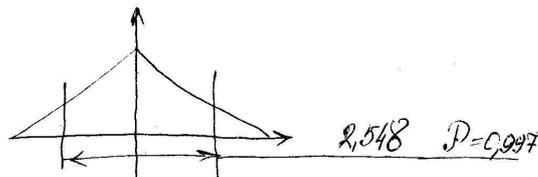
Приборостроение $\pm 2\sigma$
(наст. прибор)

Техника, картограф, физика $\pm 1\sigma$ - "стандартн. ошибка"

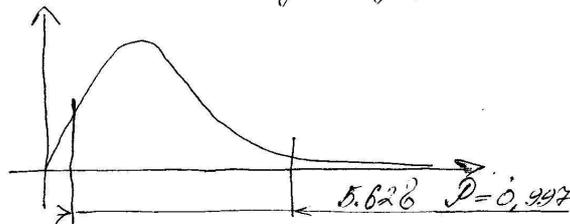
2. Равномерное распределение



3. Закон Симпсона



4. Закон Максвелла (для ср. частот. выстрел.)



Обнаружение неслучайности

Систематическая
Обнаружить и оценить
возможно только при
контроль. n - n на
более точном приборе



Случайная
Обнаруже. при выстр. множк.
измерений. Не может быть
исключена, но может быть
умножена в \sqrt{n} раз путем
выстрел. n измерений
Реально больше 100 ~ 200
изм. нец. требуется.

систем. погреш. наиб. опасн
 - т.к. для ее обнаруж. необх.
 расплатить более точн. ср.
 измерен.

систем. погрешн. может быть
 исключена путем введения поправок
 в результат измерения.

различие между $\Delta_{изм}$ и $\Delta_{ср}$

Выбор средств изм по точности.

Производство (мелкие изм)

$$\Delta_{изм} \leq \frac{1}{4} T$$

T - допуск на изм (tolerance-gauge)

Исследования (эксперим)

$$\Delta_{изм} \leq 0,1 R$$

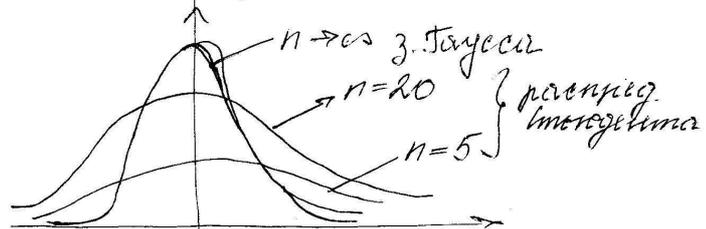
R - станд. deviation (станд. откл.)

— сред. эксперим.

0,1 - чтобы получ. прикл. 10
 точек на диапазоне рассеяния.

Распределение Стьюдента.

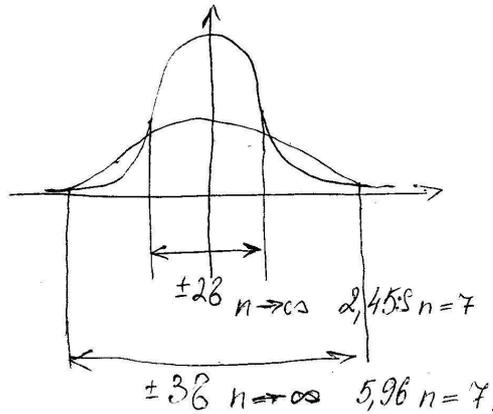
При малом числе изм. статист. характ. изм.
 (\bar{x}, S) становятся самыми случайными величинами,
 а форма кривой становится зависимой от числа
 измерений.



При малом числе изм. известно доп. инт. $\pm 18, \pm 28, \pm 38$
 исп. доверит. интервал $\pm t_8 (\pm t_5)$, коэф. t — ~~коэф.~~
 Студента, задается таблично и зависит от числа
 изм. и выбран. доверит. в-ти.

$n=7$	P	0,9	0,95	0,99	0,999
	t	1,94	2,45	3,71	5,96
$n=30$	P		0,95		0,999
	t		2		3 ?

при $n > 30$
 t и s считаются



— Лекция №4 — 27.09.07 —

Обработка результатов измерений.

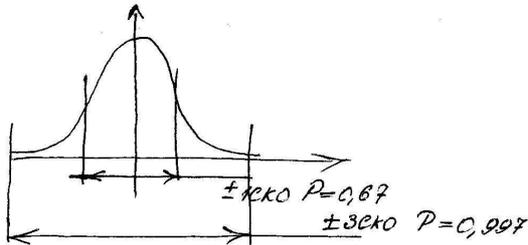
Сфера измерений.

1. Определяет сист. погрешность $\Delta_{сист}$.
2. Определяет сист. погрешность.
2. Находят средн. рез. изм.:

14 } $k_0 = \frac{\sum x_i}{n}$
 3. Коэф. $k_0 = \frac{\Delta_{сист}}{k_0} = k_0 - \Delta_{сист}$

4. СКО однократного изм.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$



$$\sigma \approx n \rightarrow \infty$$

5) Ускоряет грубые погрешности.

- 1) свет.
- 2) звук.
- 3) грубая.

прост. крит. $x_i > z_{\text{крит}}$
 \uparrow грубая погр.

6) Теряется СКО, если же груб. изм.

7) ~~Будет квадрат~~ СКО среднего результ. полуз. по результ. многократн. измерен.

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

8) Рез. измер. содержатся - форма записи:

$$\bar{x} \pm t_{n,p} \cdot S_{\bar{x}}$$

n - число изм.
 p - доверит. в-ть.
 t - коэф. Стьюдента.

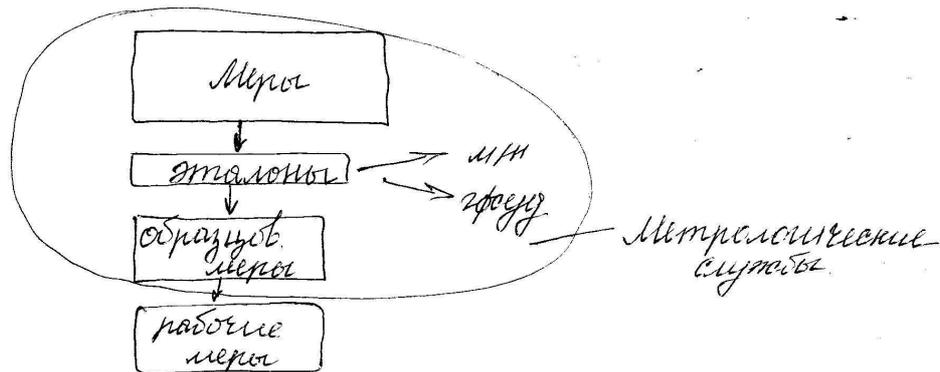
Единица измер.

Единица изм. - это такое же как свет. при какой волн. указан единицы и изм. величины погрешностей.

Как воспроизв. физич. величин. мер. мерок

Единица мер достат. внимания мер на год.

на разн. уровнях поверочн. схеммы.
 Повер. схема - ГОСТ стандарт устан. средства методов
 и точность передачи размера единицы от эталонов
 к образцу мерки и далее к раб. меркам.



Эталон - физ. тело или устан. принадлеж. для воспроизв.
 и хранения единицы физ. величины в международ. или
 нац. станд.

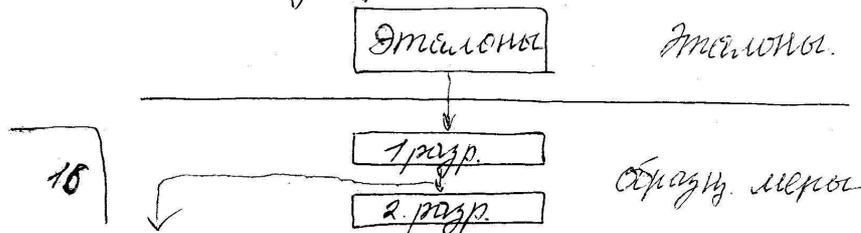
Обр. меры - для передачи един. физич. величины от
 эталонов к раб. меркам

Раб. меры - предн. для вытаци. измерен.

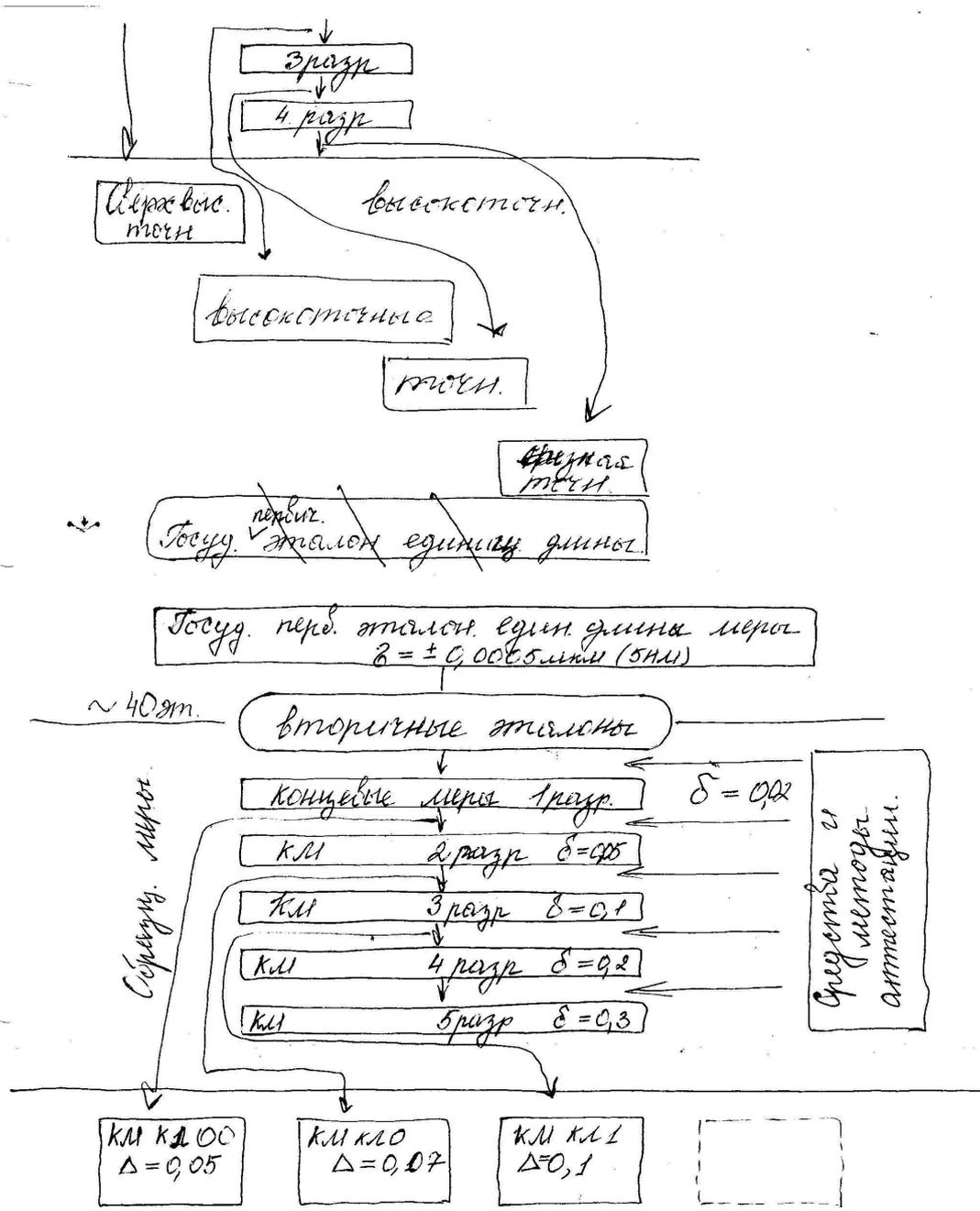
В системе С.И. 56 эталонов в осн.: длина, масса, время,
 время, сила тока, сила вб.

США : 53 эт.
 СССР : 40 эт.

Структура поверочн. схеммы.



15



Аттестация
поверхности

Верх. ант.
 $\Delta \approx 0,2$

Верх.
длин.
 $\Delta = 0,2$

Микрош.
 $\Delta = 4 \text{ мкм}$

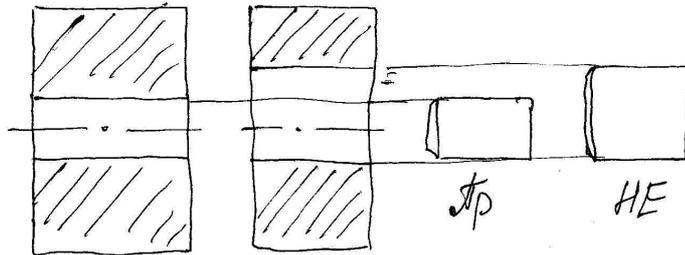
Все средства включаются в ис. отчет и прил. ис. пометку.

18

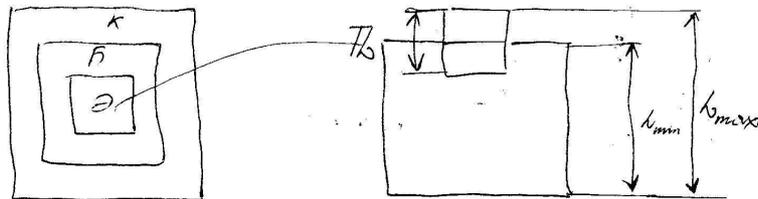
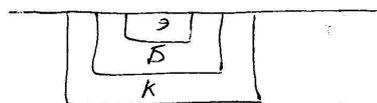


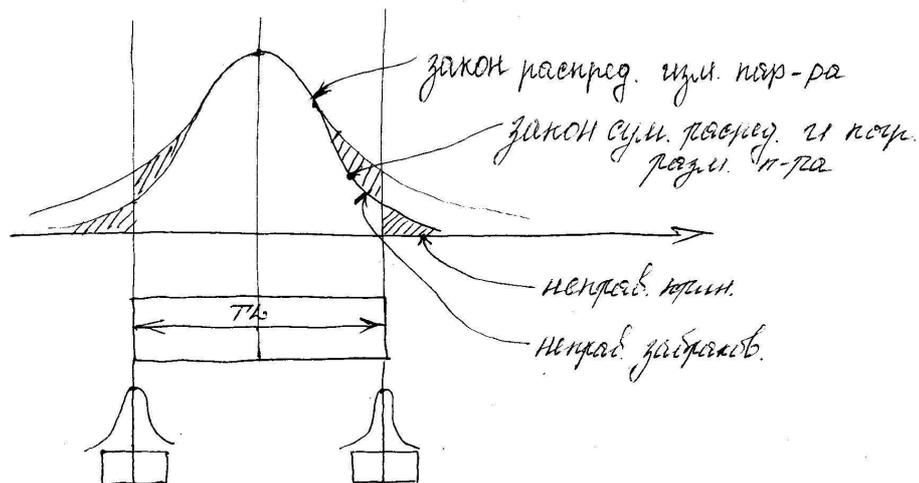
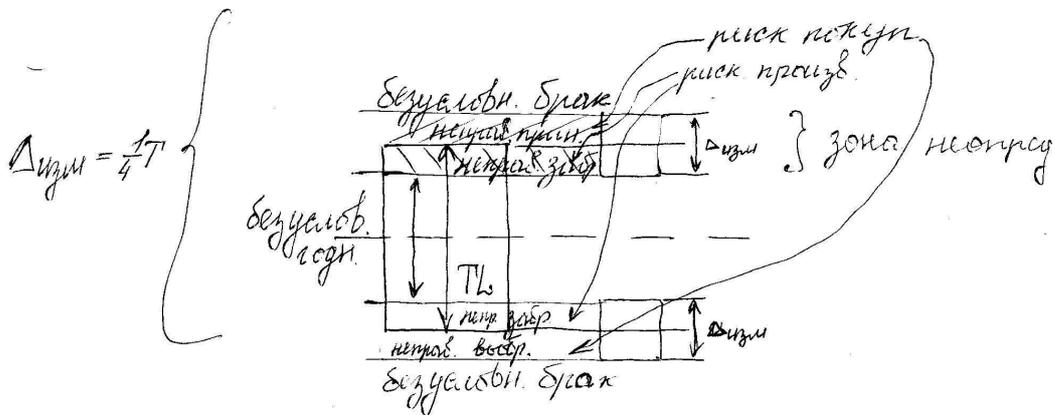
Влияние погреш. измерен.
 на рез. контроля.

Точные изм. имеют целью установить соответствие действ. размера предельным знам. допуска зад. в дождли.
 Контроль годности



Лекция №5 04.10.2007





Все норм-лы композиции материалов, количества вероятности качества, нормат. размер. деталей винта выседа за границу допуска в зависимости от нормы измерения в процентах от винта выседа.

Толщина в % от выскр.	Винта выседа за гран. доп.	Кол-во шт. в 1 м	Нормат. кол-во нормат. размер.
10	5	1	1,3
20	10	2,0	2,8
30	15	2,5	3,5
40	20	4,0	6,0
50	25	4,0	7,0

Метралоги́ческое обеспечение.

М.О. уст. и приме. научн. основ. метрол. и техн. сред. отб. необход. для дост. треб. точн. и единства измер.

В МО входят:

- 1) С-ма гос. метрол. службы разраб. средств измерений по результатам кон. анал. вкл. в сев. Регистр и конур. разраб. на срисов. формул и в итоге в поверочной схеме.
- 2) Метролог. надзор → периодич. все средства измерений исп. на контрол. в соотв. с поверочной схемой (для каждого средства измер. уст. свой метрологич. интервал)
- 3) Метролог. экспертиза всех стадий производ. (МЭ, СБП, ЕИ: табелы, дек. и т.д.)

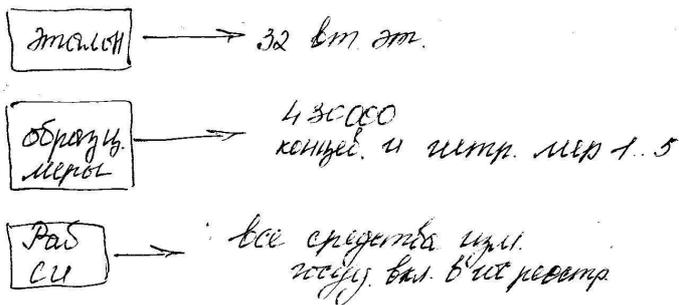
Италон. база мин. и губ. властей:

В России : 3 гос. первичн. эталона :

- ед. длины, ед. масс. уга, ед. сферич.

Передана ед. длины от эталона к раб. мерам во всех с. пал.

32 эталон. эталона и 430000 мер 1-5 разряда.



Минус-лучи пути проход. светом в вакууме за $\frac{1}{299792458}$ года секунда (1 метр проход. светом за 3 нс.)

проект самолета: единый корпус фюзеляж-крыло-хвост.

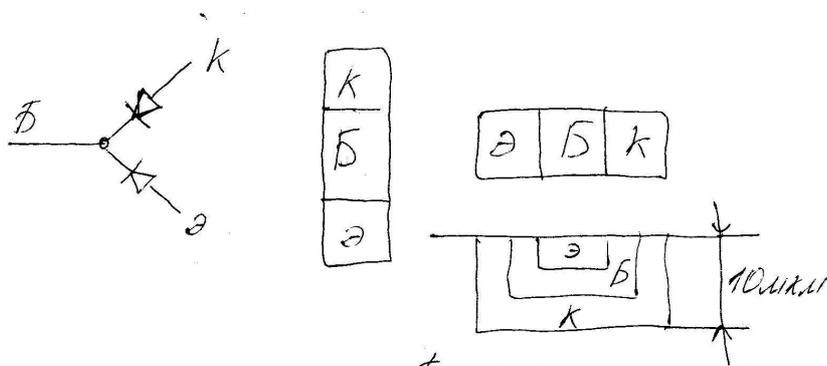
Веселый самолет радуга: 1650-763, 7.7 дин. волн Кэ86 в пустоте.

Объекты изобретения в промышленности ИС

1948 Bell Telephone - транзистор германий.

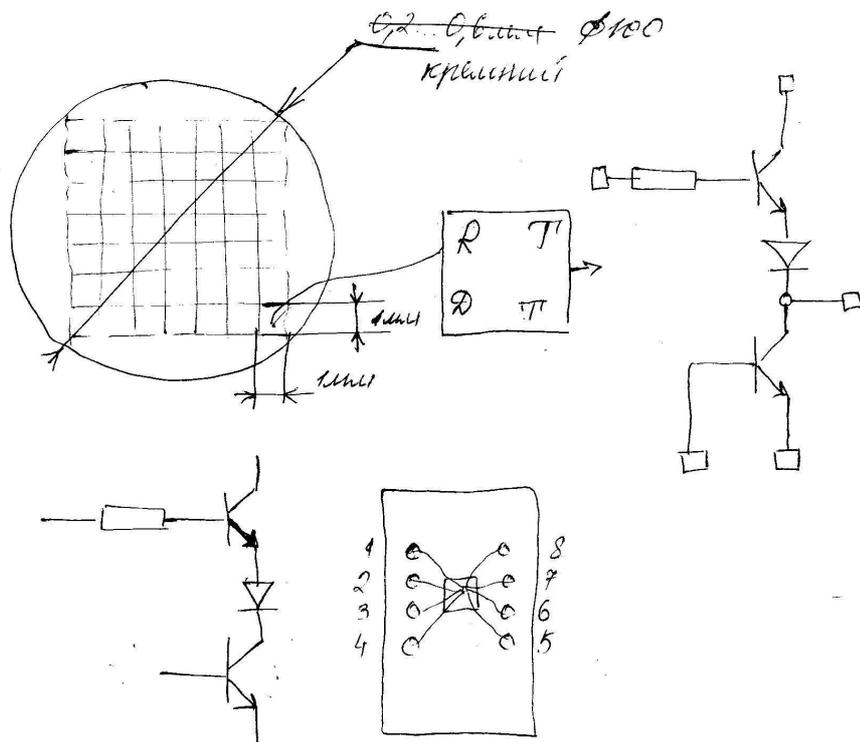
1952 - полупроводник.

1962 - микрочип.



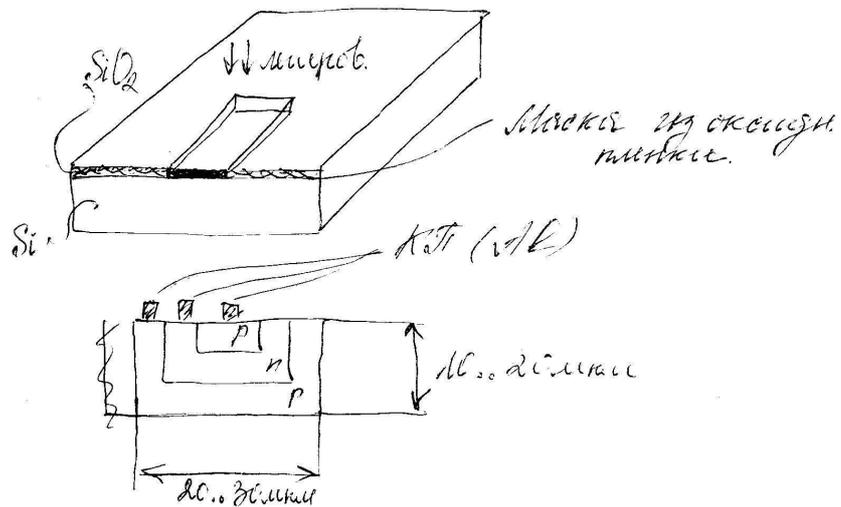
Планарная технология основ. на литье. поверхность пласт через маску акцентом и допускными принципами, в ред. слое под пов. пластина образ тонкие слои 1...25 нм с разным типом провод. (р и н) и рп переходы на фран. слое. отдельные слои ион. как резистивный, а на р-п переход. повтр диода и транзистора. Литье: участки образ на пов. технологию. Литье: рисунок на пов. крист. слой. пленка из флуоресцент. краски в пленке протравлив. рисунок "маска" через кот. происл. литье.

Метод литье. наименьшая АЧ через маску. рисунок.



ИС в керн. ~~в~~ DIP

Кремний. исп. потому, что сложн. техн. на его пов
исп. на всех этапах изг. микр. инт. калуж. техн. свм.



Технология маск

В сен. процес. ИС. литит литр. пов. плавот.
из монокрист. кремния через маску.

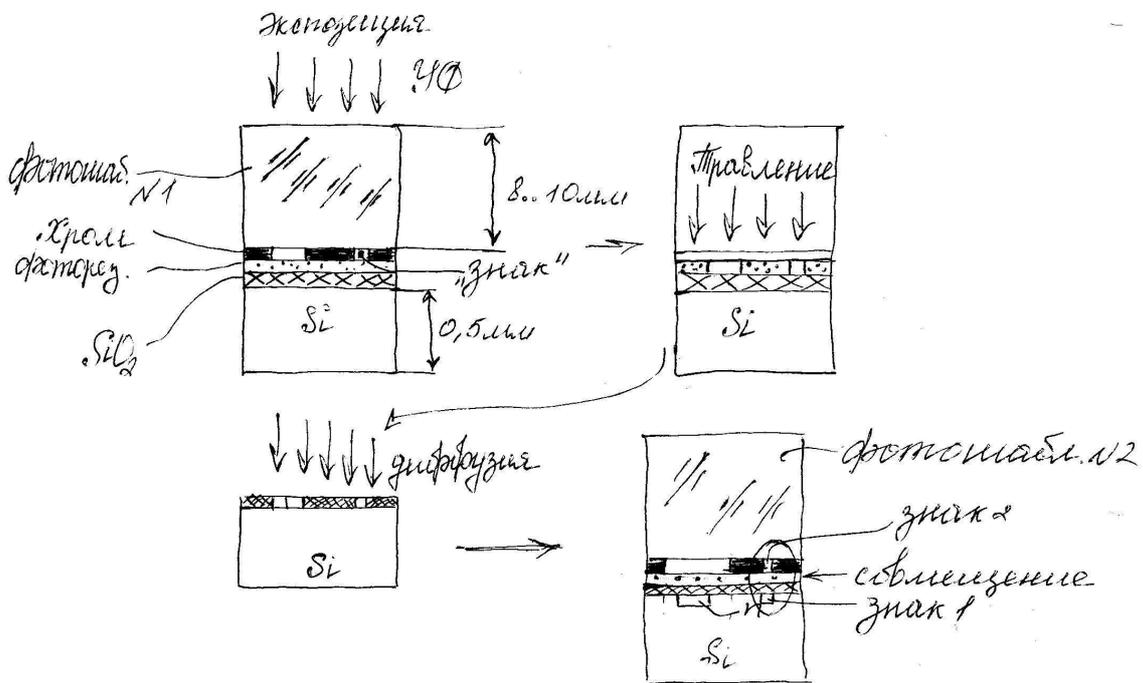
Требов. 2 тех. маск. полу. маск.

- 1) Фотолитография.
- 2) Электронная литография.

Операции:

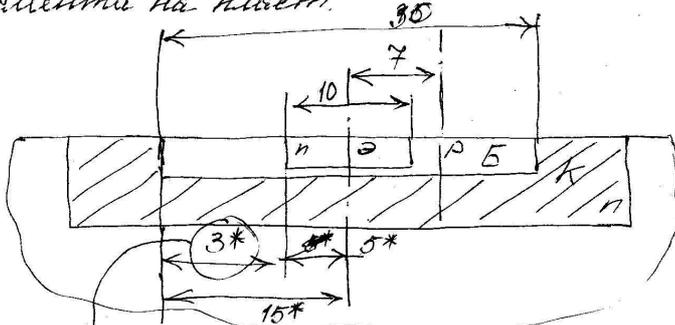
- 1) Окисление
- 2) Тинь фоторезиста
- 3) Совмещение с фотомаской
- 4) Экспозиция
- 5) Травка
- 6) Травление
- 7) Тинь фоторезиста
- 8) Диффузия
- 9) Травление маск
- 10) Тестер при 1-9 (тинь. процесс 6-10 раз)

1. Окисление: на плавот. тинь. окислен. слой. тинька из SiO_2 - окись кремния ~ 1 мкм, 2) на пов. тиньки нанес. капля фоторезист. которая в центре фот. резиста по плавот. слой. 1 мкм. 3) на пов. фоторезиста нанос. фотомаска, совмещ. его знаки со знаками полу. на предыдущ. опер.
- 4) Экспозиция ультрафиолетом
- 5) Травка и зачистка, после того в завод. масса. поедл. окис. фотомаски, полу. на фоторезисте. маск.
- 6) ~~Тинь~~ через полу. маску тинь. окис. пов. до краев, на крайней трав. не действ. - полу. окис. маск.
- 7) Через окис. маску можно пройти диффуз. литр. при. с целью пайдення. n или p тинь. трав. резист.
- 8) Трав. окис. маск.
- 9) Тинь полу. слой. тинь. слой. пайдення. опер. с тинь. по 9-10.



Точность совмещения.

Фотолабел — это пленка на кот. фотолаб. слой в виде выгравированных рисунков определенной геометрии. На каждом фотолабелке количество за пред. ряд. плен. количества точек "знаки" кот. вып. для совмещения точек. точн. совмещ. 0,25... 0,1 сот мкм. разн. элементы на пленку.



мм. размер элем.

$$\Delta_{\text{точн. совмещ.}} = (0,1 \dots 0,25) \cdot 3 = 0,3 \dots 0,75 \text{ мм};$$

± 0,3 мм предт. мин. погреш. визуальн. совмещ.

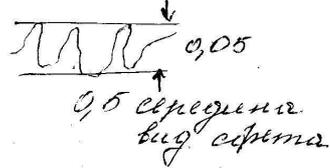
± 0,75 — факт. реализ.

Точность обшивки округ. техник. возм. и
 позад. уровни разд. отрезали на все уровни.
 Так же как техн. подбит. элемент-ед. длины мер.

Цифровые характеристики.

А. Ультразвук

- 1) Толщ. пласт. $\approx 0,5 \pm 0,02$ мм
- 2) Мероспособность $\approx R_{\Sigma} 0,05 \rightarrow$ высот. мм по 10 отсчетам
- 3) Промб. твёрдость в своб.
 составные 4мм
- 4) Промб. пласт. в шит свет
 (металл) 3мм (4мм)
- 5) Размеры дефектов 0,7мм \rightarrow макс
 шит на 1 см²
- 7) Толщ. губ. асб. (0,1..2мм) $\pm 20\%$
- 8) Толщ. обшивки метал (0,2... 1,2мм) -5%



Б. Фотоизмерен

Ширина ячей	Допуск раст.	Допуск нрост. края	Допуск на свободу	$\frac{1}{4}$
0,6	0,05	0,05	0,1	
1,5	0,15	0,15	0,25	
2,0	0,2	0,25	0,3	
3,0	0,2	0,35	0,7	

Технология изгот. фотоизмерен.

- | | |
|---|---|
| 1) Традицион.
Кол-во змн. на
крист. до 10.000 | 2) Современ. техн.
Кол-во змн. на крист.
10.000.000 |
|---|---|

Традиционная технология

- 1) На координатной сетке в масштабе 100:1; 400:1; на спец. пленке изготавливают положительную топологию
 - 2) Перенести спец. фотомаску с увелич. до масштаба 1 к 1, на стекл. подложку, проецируют оригинал
 - 3) Мультиплицируют на спец. оборку. на светочувств. слое по всей поверхности прил. оригинал на всю пов. фотомаски
16x16 мм
 - 4) Мультиплицир. вст. сном. спец. оборку кот. служит только в проц. ИС
- Получен оригинал 1-го слоя топологии
- 4) С оригинала делают рабочие копии.
- С оригинала можно получить порядка 80~100 копий.

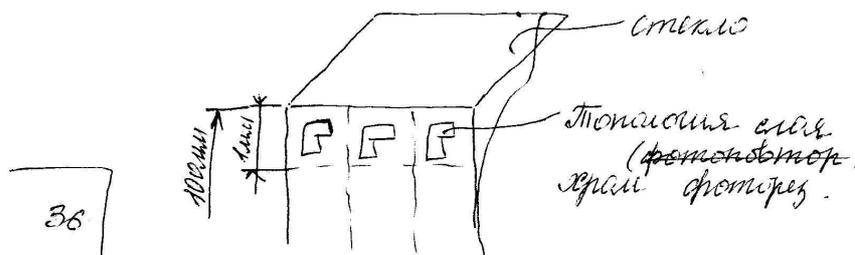
Современ. техн.

- 1) Оригинал изготавлив. в электрон. микр. в масштабе 1:1, 4:1 на фоторезисте
- 2) Мультиплицир. (возм. увелич. на этапе мультиплицир.
- 3) Изгот. раб. копии

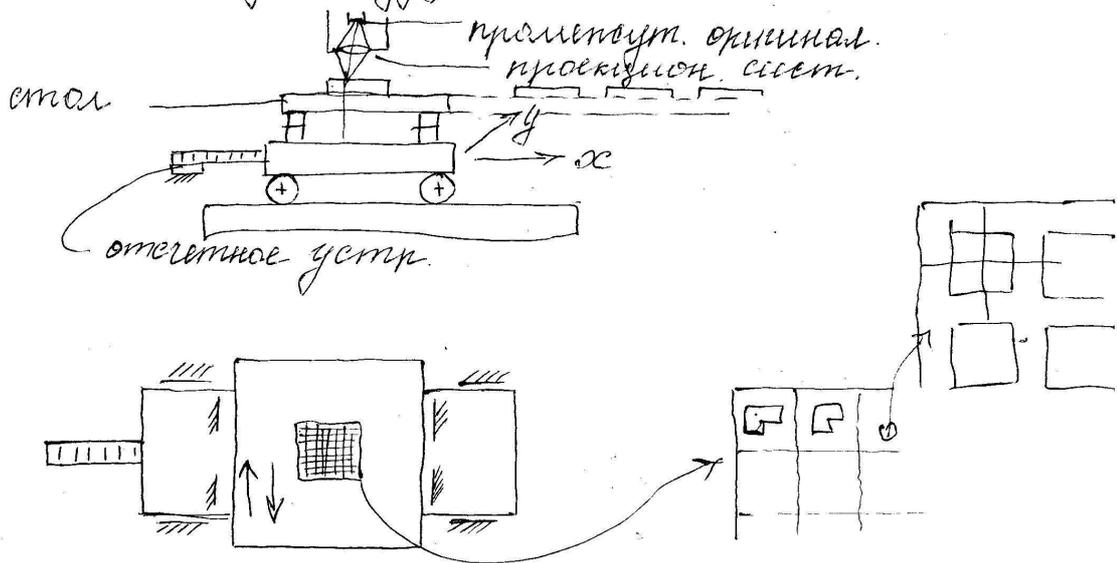
— лекция № 7-8 ————— 18.10.07

Репродуктор

Мультиплицир. - многократ. копир. топологии слоя на всю поверхн. фотомаски с камель. фотомаски.



2х кардинал приципоти. в шибов. приводе ^{стал} и
 несколькими до 12 проекцион. свет. На столе
 можно напн. до 12 будучи. шаблонов.

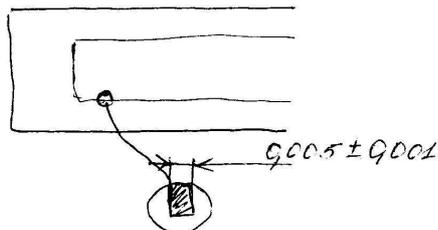
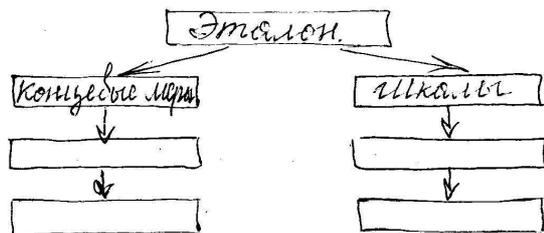


Точность измер. параметров.

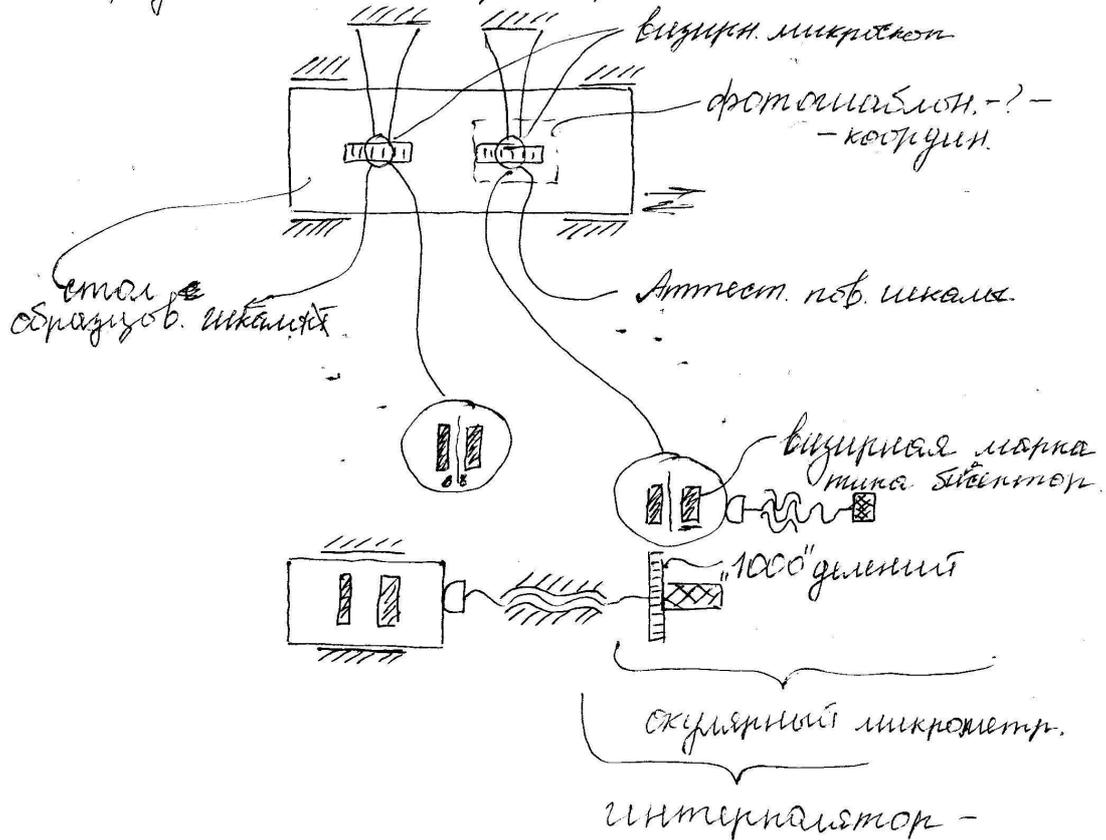
- А. Измерение по одной координ.
- Б. Измерен. в прямоугольн. или кругл.

Измерен. по 1-й координ.

Поверочная схема



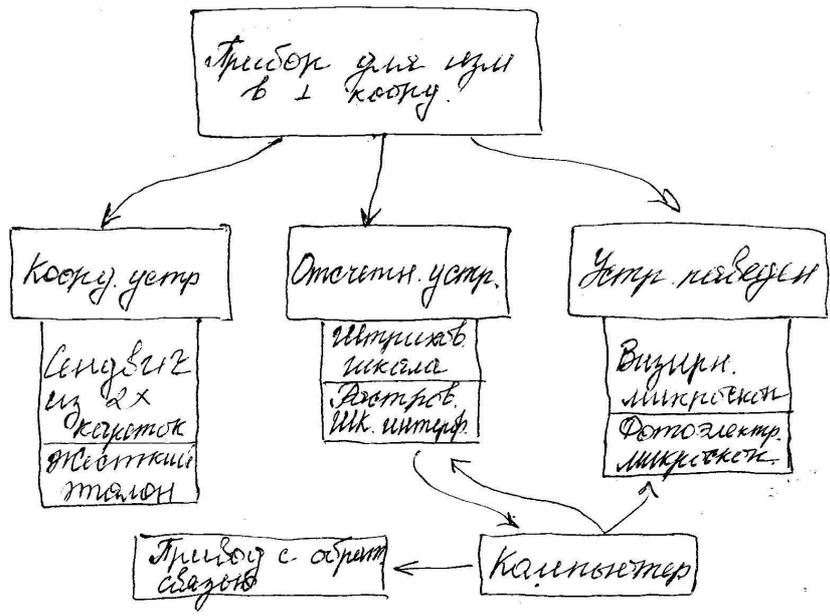
Технология: травление по восковому слою.
 Травление в паре гидрированной кислоты.
 Передняя ед. длины от образц. шкалы руб. шкалой осуну
 на продольном калибраторе.



длина раст. между штрихами на некоем кол-во
 частей, чтобы отчит. было м-ра т.к. ~~была~~ шкалы
 штрихов (мм)

В. измер. в декартовой с-ме координат.

Проблема заложена в следствии того, что крайне
 точн. отчеты устр. realiz. в виде шкалы с интерналетом.
 в приборе должен быть устр. realiz. ось коорд. осей
 координ. устр. отчетов.



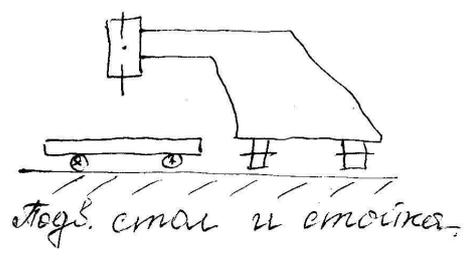
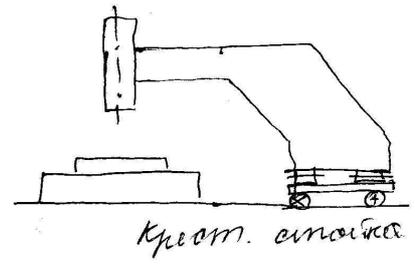
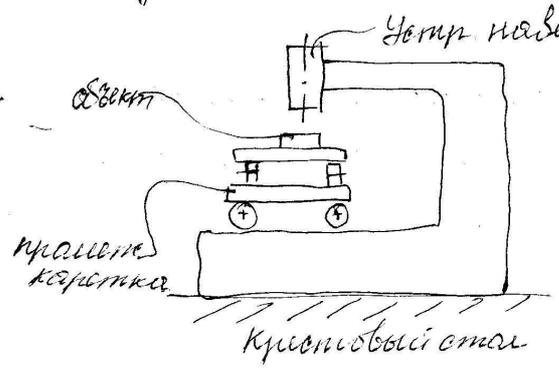
Координатное устройство

Различается вид. КЧ реализу. по схеме "сенсоры"

Крестов. стан

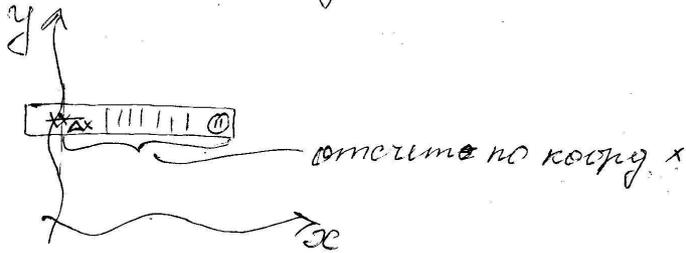
Крестовая стойка

с подвижн. столом и стойкой



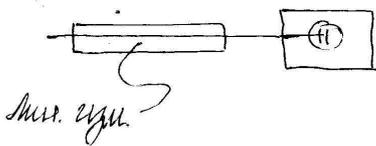
Резицу в коорд. изм. машины (КММ)
 Точность координ. устройств.
 Координ. устр. вносят в резуль. изм. делат.

↑
 Точность из-за не
 приемл. траект. перем.
 картон и их нечетности.

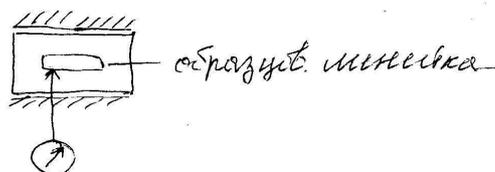


погрешн. форма и расн. оси у выдет полной выт. врез. при
 по координате x , и наоборот.

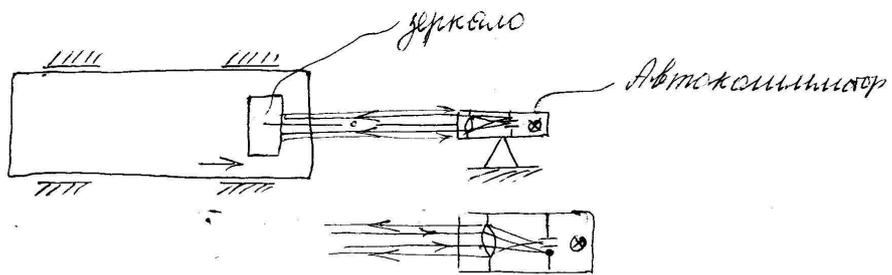
2) Погрешн. возник. из-за погрешн. поворота стола
 при перем. его по направляющей → компараторная
 погрешность. Важна компарат. погрешн. ступ.
 степенно не своей. принцип Аббе - компарат.
 принцип. « принцип перем. расположения "Ernst Abbe →
 1890г - при высок. треб. точн. ... линия измер. должна
 быть продолжен линией шквала.



Контроль погрешн. перемещ. стола.

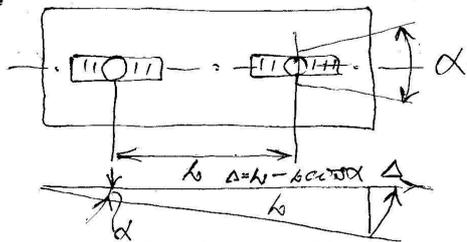


Контроль поворотности.

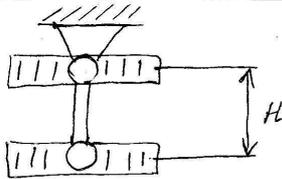


Расчетное выражение

I.

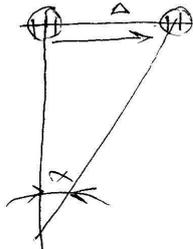


Принцип Аббе лин.



$$- I. \Delta = k_0(1 - \cos \alpha) = 2k_0 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

II.



$$\Delta = H \sin \alpha$$

$$\sin \alpha \text{ при } \alpha = 1'' \approx 0,000,005$$

$$1'' \rightarrow 5 \text{ мкм / микрометр}$$

$\sin^2 \alpha$ - величина 2-го порядка малости.

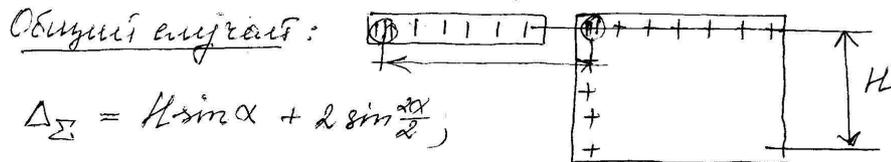
При соблюд. принципа попер. лин. погреш. пренебр. можно даже при знан. углах поворота $10'' \rightarrow 5 \text{ мкм/ли}$

При $H = 100$ $\alpha = 10'' \rightarrow 50 \text{ мкм/м}$

$\Delta = 5 \text{ мкм}$

10'' - допуск упрощ.

5'' - техник. предл.

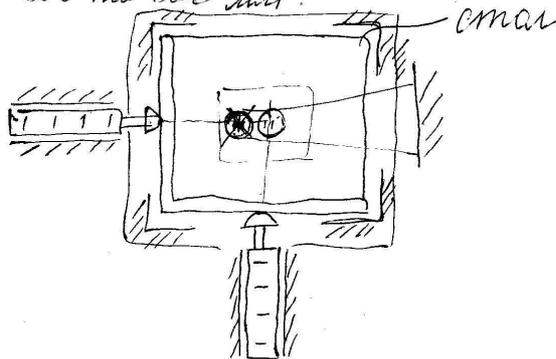


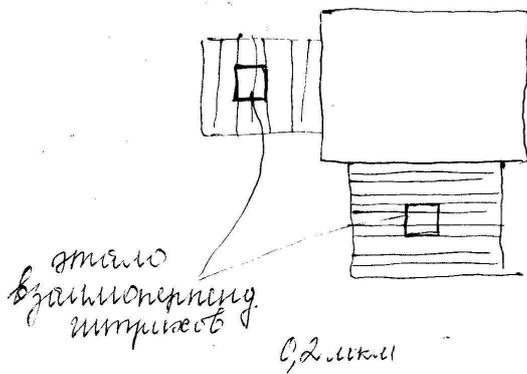
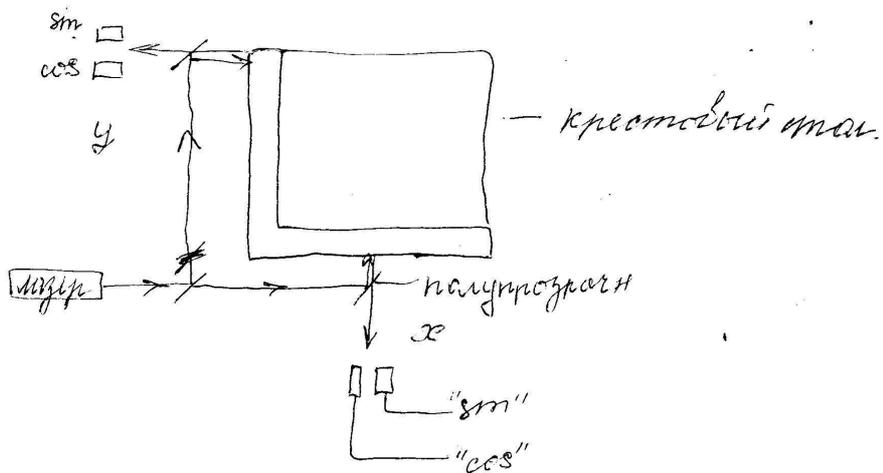
Калитрат погреш. при измер. труб. калитровке не может быть учт. ни какими констр. методами, т.к. при труб. калитровке линии измер. зазуб. видны. учт. погр. откоса линии измерения. ~~до~~

Координ. учт. в так назыв. эталонном коорд. осей

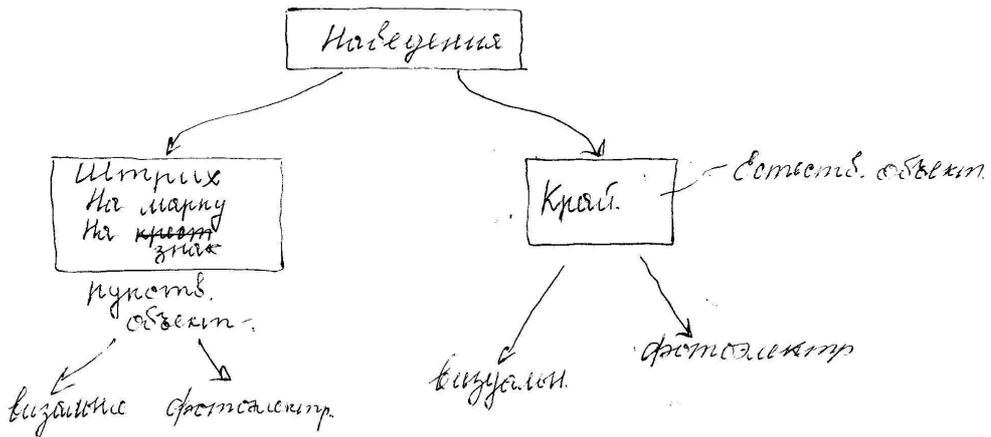
1932 К. Zeiß, Гена представил прибор под названием ..., в кот. был примен. новый принцип построения коорд. устройств Акоректор.

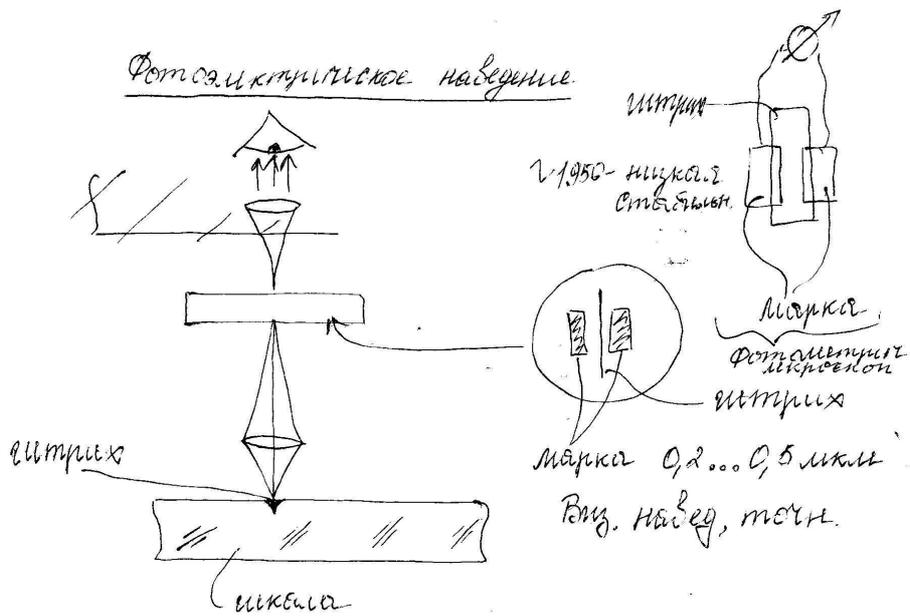
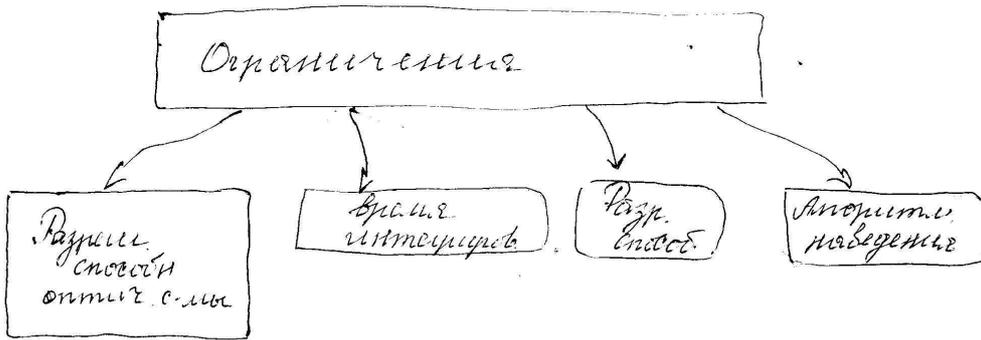
Прибор предн. для измер. коорд. звезд на астр. снимк. в поле 300 на 300 мм:



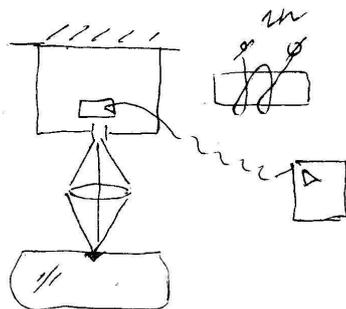


Система навешивания





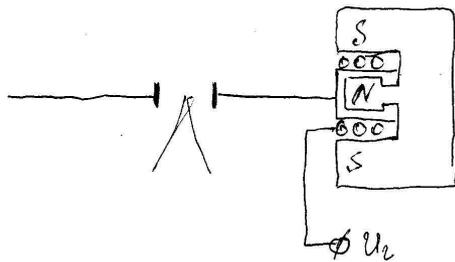
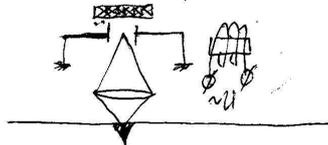
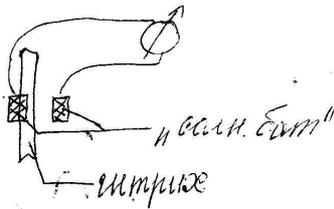
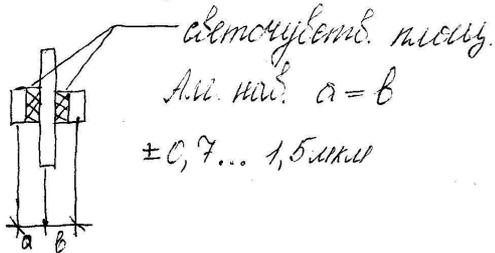
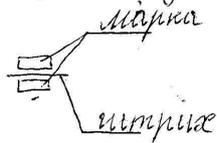
Лазерное наведение с учетом неتاب 0,5-1 мкм



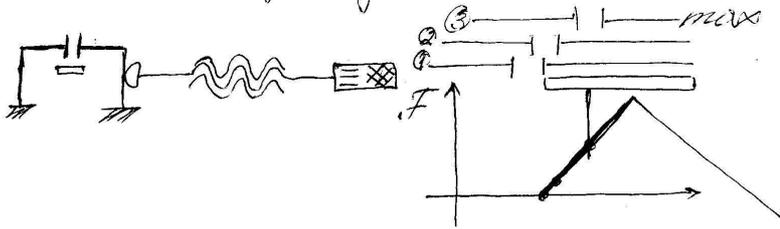
ФЭИ - фотоэлектр. микроскоп.

Фотомикрометр

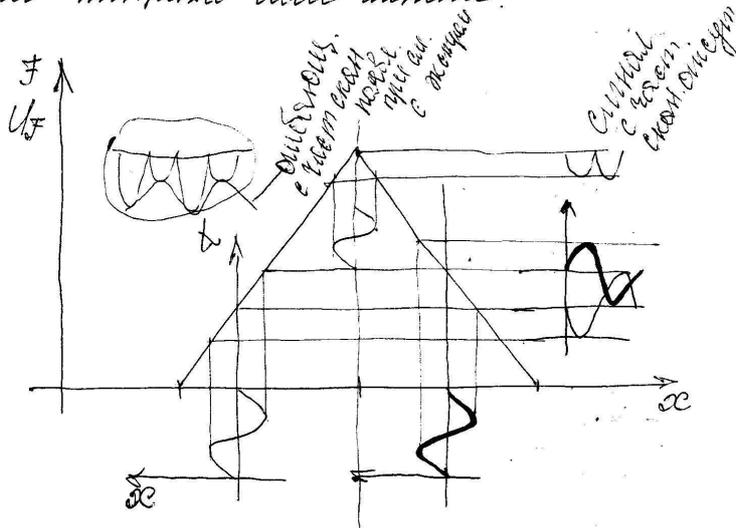
Функция преобраз. вращ. вим. преобр. от вращ.



Функция преобраз. состоит.
 щель диафрагма - штифт

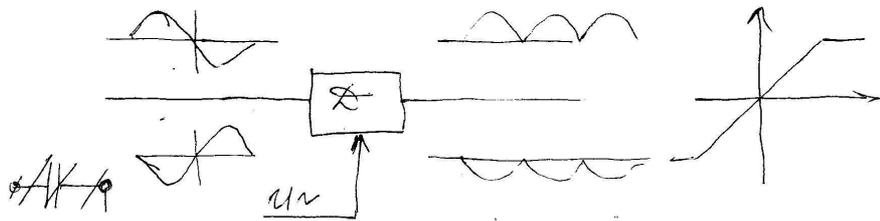


Для нахождения экстр. свет. хар. исп. сканир. —
 здесь — калед. двит. щели с оптич. порядком
 ширины штифта или щели.

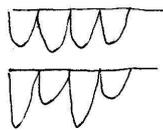


Тризи навед. на экран. явл. отсут. в выходя. снм.
 вышит. свет с част. сканиров.

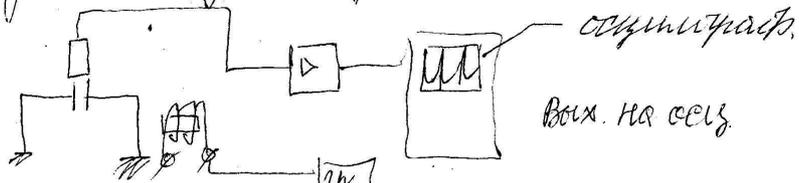
Для обраб. снм. исп. классич. схема "Разлучение. Велер"
 "Ис. модуль."



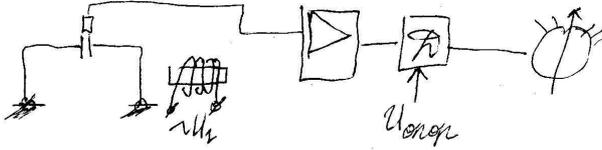
$\sim U$ - опорн. напряж. обилье с напряж. жект.



Наведение на знак с углом оперетт

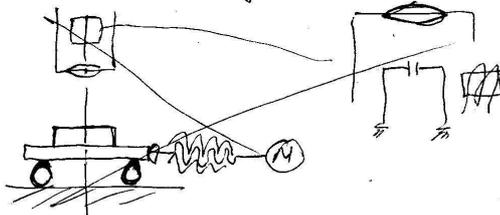


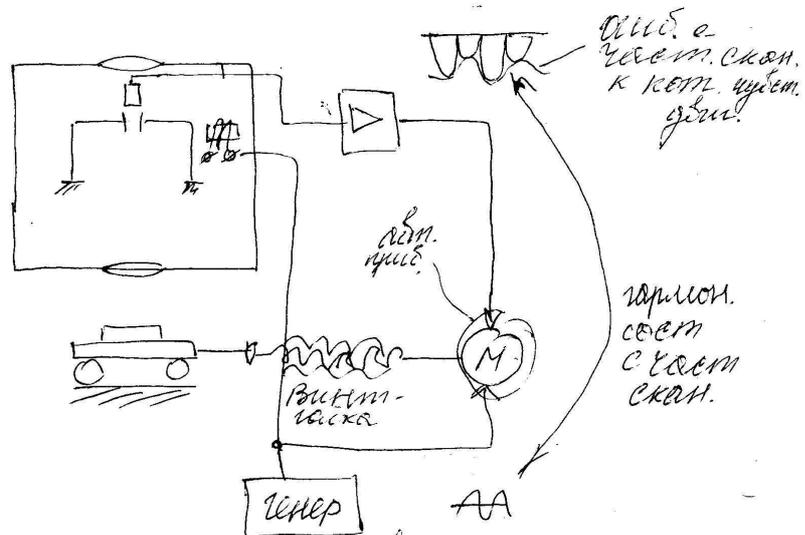
0,1% от ширины импульса.



$U_{опер}$ и $U_{жект}$ - от одн. центра.
Вых. на стрел. крив.

Автомат. навед.





Недост. - четр. раб. только в окрест. штриха

для перем. зоны асх штриха с пеллсина.

± ширина штриха исп. программы четр. без ос.

В терм. ПАР (теор. асх. пел) достигн. асх. с-ма

$$A_{\text{ав}} = 0,01 \dots 0,1 \text{ нм}$$

в завис. от качества прибора.

Наведение на край случ. отн. от наведен. на штрих
т.к. опт. с-ма в сост. перед. сгр. спектр. протр.
част. асх. прамор. фронт сигнала от штриха.

Визуалн. наб. на край соу. знач. субъект погрешн.

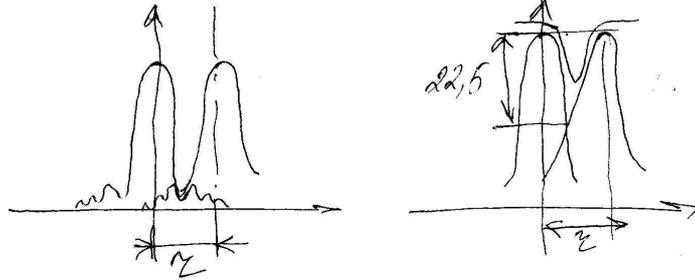
вещч. кот зав. от формы погран. ~~края~~ кривой
кот в свою очередь зав. от степ. расфок. объекту.
и навыков операт.

Разреш. способн. оптич. с-мы

С понятием разр. спос. связ. форма погран. крив.

в точк. марки исп. для наведен.

Разреш. способ - разн. между изобр. двумя точечн. источ.
 свет. ради. излучен.
 Точечн. источ. изобр. светов. волн в виде
 "Кружная Фри"



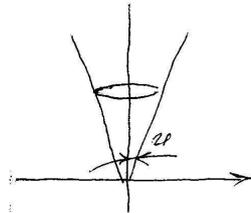
Примеры Ринг - разреш. способ. отп. с-мы равны
 разн. от предельно макс. θ + 10 мин в этом ауг.
 изобр. дсе свет. может различ. глазами.

$$z = 0,61 \frac{\lambda}{A} ; A = n \sin \alpha$$

n - коэф. преломл. среды (воздуха $n=1$)

α - угол под кот. виден объект.

из предельно тесно.



Разреш. способн.

Форма почтен. крив нечет.
 образ. сяз. с кривой отп.е
 разн. освещ. в кружке Фри
 и с кривой разн. разреш.
 способн.

теснота предель.

$A = 0,45$		$A = 15$
$\lambda = 0,5$ видим		$\lambda = 0,2$ УФ
$\alpha = 0,7$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 0,07$

ширина тесноты
 с $n \rightarrow 1,5$

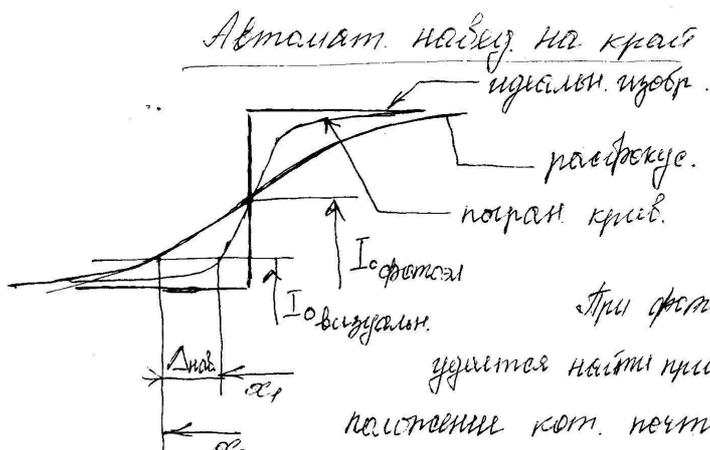


Пути пов. точн:

- 1) Увелич. длины волны λ
- 2) Увелич. числа отверстий
- 3) Присоед. к др. типам микроскопам.

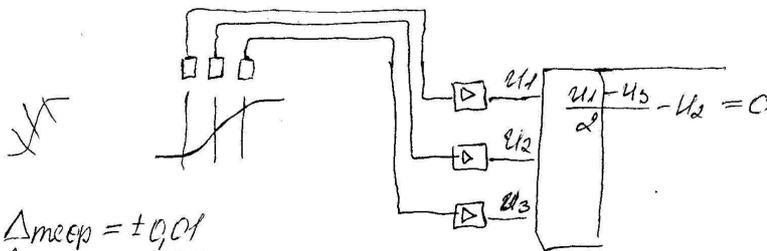
Ограничение:

- 1) При $\lambda < 0,2$ мкм резко остр. выбор оптич. для микроскопн. объективов.
- 2) Критичн. увелич. число отв. экр. уменьш. глубины резкости. $k = \frac{\lambda}{A^2}$
 при $\lambda = 0,3$ и $A = 0,45$; $k = \pm 3$ мкм
 пред. зная без тнн. — треб. авт. фокусе.



Автомат. навед. на край

При фотоселектр. навед. удается найти крив. неск. точек положения кот. почти незав. от расфокус и уровня освещенности. Для того чтоб. опред. макс. и мин. свет. потоков и найти среднее между тннн.



$\Delta_{\text{теор}} = \pm 0,01$
 $\Delta_{\text{реал}} = \pm 0,05$

Преобраз. параметров

Все преобраз. параметр. каким либо образом связаны период. шкалы. В част. случае период. ед. и типа преобраз. - растровые, интерференционные.

В основе растр. - растр. экранов, а интер. - интер. френеловый экран Мейкловсона. Образ. отбрасыв.

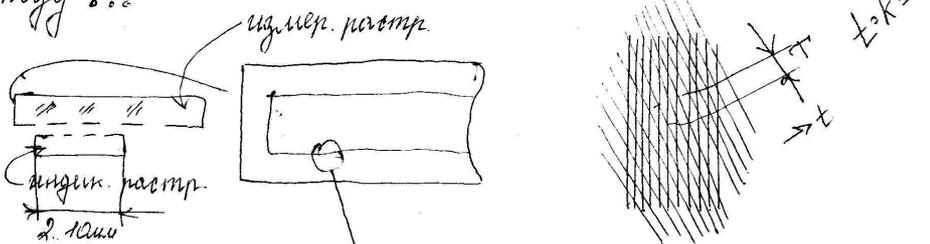
$$x = nT + \delta T$$

n - число целых периодов \rightarrow свет. (считыв.)

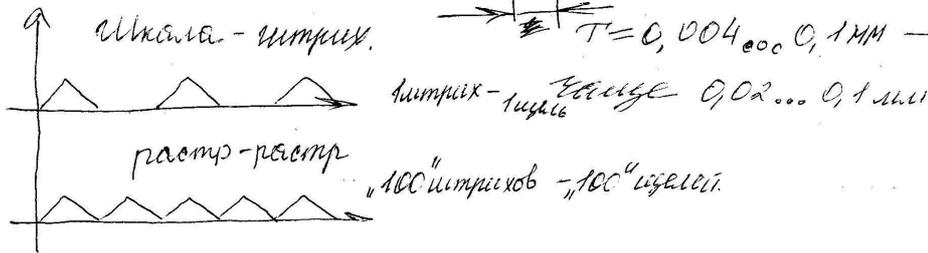
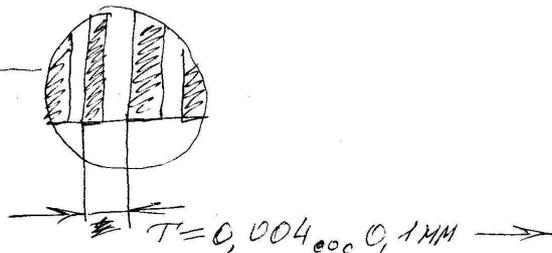
δ - доля периода \rightarrow интерполяция (определ. посыл. в свет. отбитии)

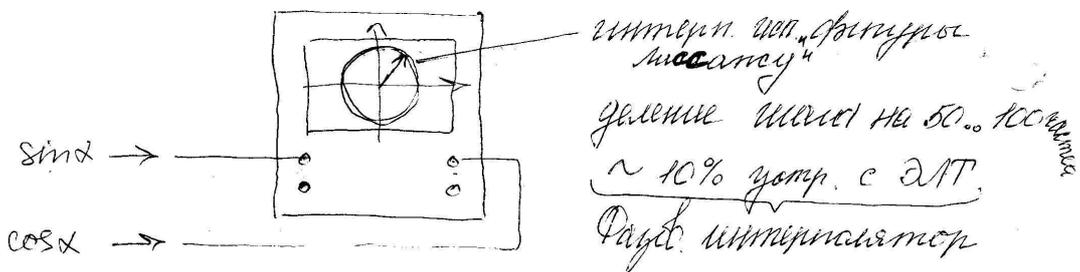
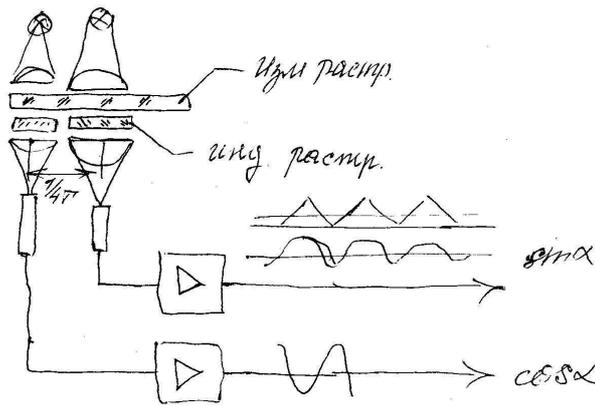
Растров. преобраз. параметр.

Растр - штрих. шкала при кот. при отн. больш. масштабах ширина штриха равна ширине промежутка между...



Шаг растра должен быть на одну штрих. ширину больше. Штриховую картину.





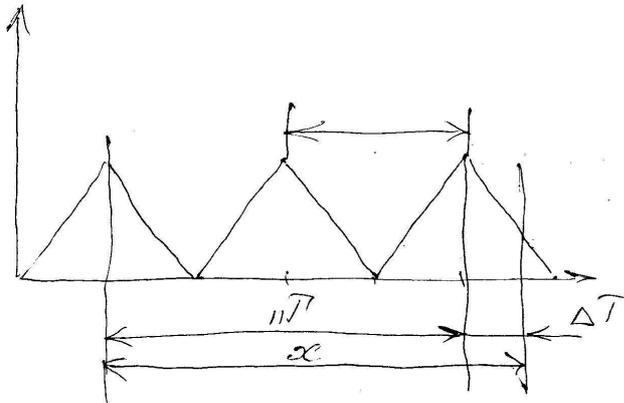
• Опран. при исп. фазов. интерференции: •
 сигналы на выходе фотоприм. должны соед. только гармон.
 т.е. быть чисто синус. И т.е. можно приближ. подобрать н. растр.
 растрового #совр, освещ. и затм. слоя света.

Купил каменные интерференционные

В купил камен. интерн. исп. применяет навед. как и
 фотозн. микроскопе. для спущ. дальн. периода инд. инт.
 растр. амень. в пределах шала шкалы подавая
 в кат. сканатора ток от точн. предыдущей. ЧААТ
 Длинн. ЧААТ 10-12 раз. — соств. 1000-2000 част.
 шала. при растре с шала 0,1 мк (10 нм) диаметра

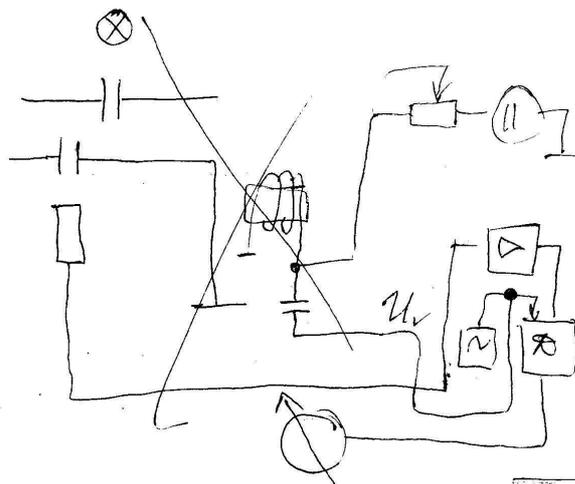
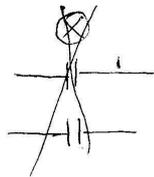
0,1 мкм.
 52

Стрел раз. переменн.

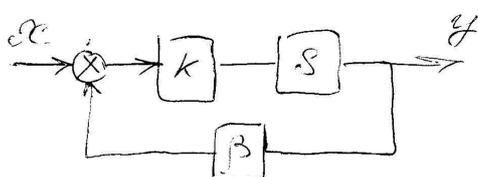


$x = nT + \Delta T$

счит
считывание
интегрирование
фазовые
ЭПТ
Калибровочное
Стреловой
ножке



а АЦП ЦАП вывед. состо. из напр. измен. величин
 на тока через резистор. калибровка в рез. член
 подг. части для обр. прибор. или до тех пор.
 пока необяз. выход дилекулятора. Угол затвора.
 в счетчик будет показ. для доли периода, на кот.
 пропорцио. к длине. перемены. Отсюда най. нужд. каленес.
 системы.



Автоматическая сист.

Три шлаг. разряд

100 мкм дискр. 0,1 мкм;

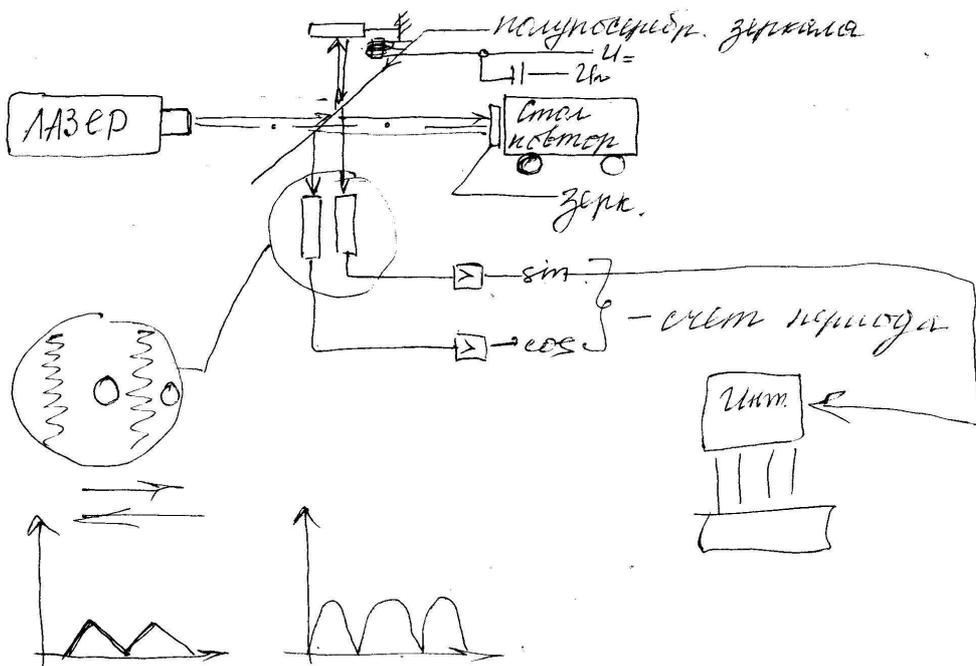
10 мкм дискр 0,01 мкм;

Формат.: неупрощен. способ преобраз. — интерпр. сохран. при
 потере сист., возм. раздвинуть период меры на 1000 —
 4000 частот, что невозможно в фазов. прибор, в кот.
 сигнал является аналогом перемены. в кален.
 сигнал исп. только для навед. на нуль.

Идеят.: нужное быстроедействие пока нет обратных
 преобраз. обилие высокой точности с высокой скоростью
 и # широк. приемлем. конструктивных решений.

Интерференц. преобраз. перемены.

В основе схема # dx нулевого интерферометра.



Возможен.

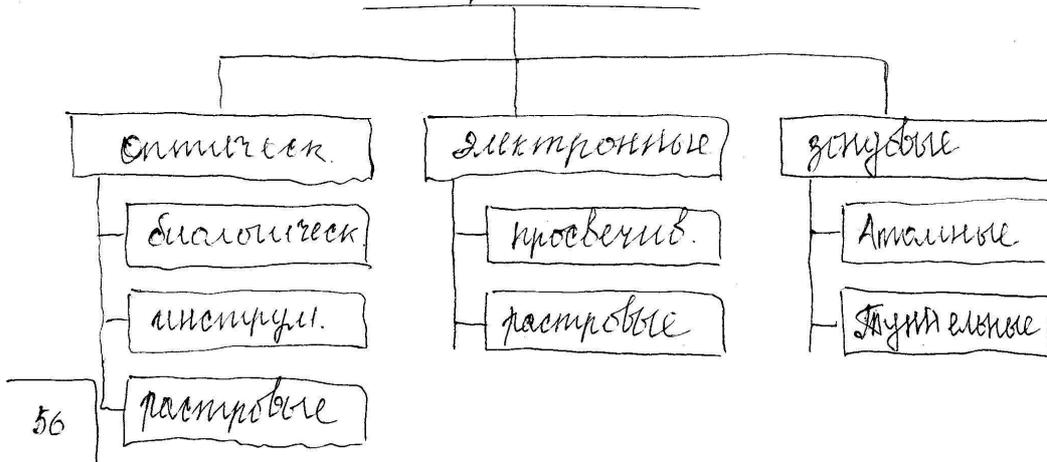
Шири 1 мкм \rightarrow дискр. 0,001 нм \approx 1 нм;
 (реально 0,01 нм... 0,05 мкм)

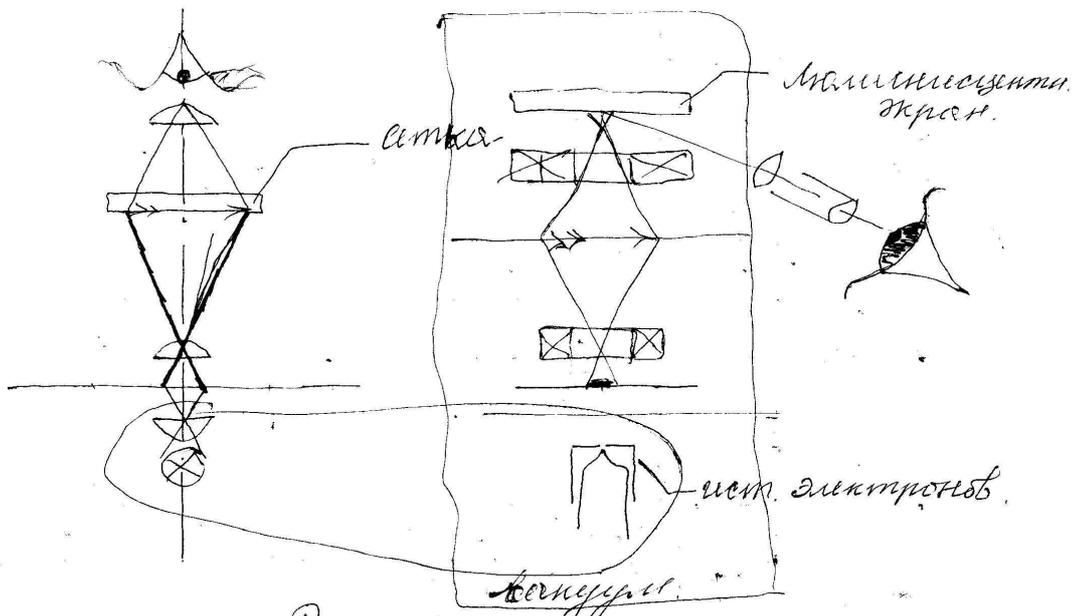
Визуализация топологии

Лекция №12

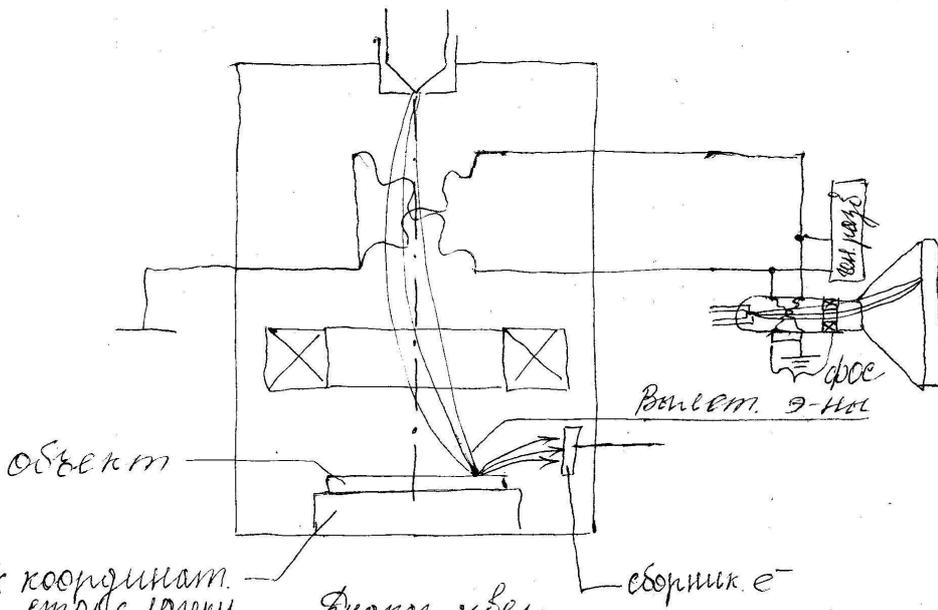
22.11.2007

Микроскопы





Расширенный электр. м/п



2х координат.
ств. с лазерн.
преобраз. парам.

Анализ увел:
300x... 30000x
Анал. зона 30x30 мкм
Раб. поле 30x30 мм.

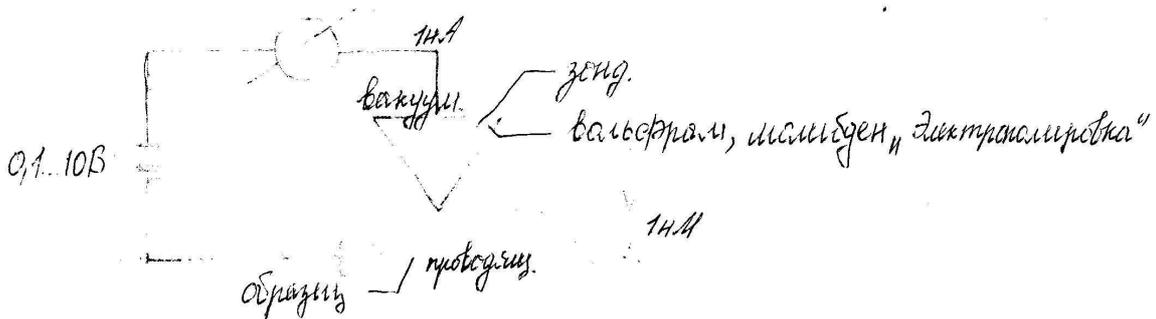
Прим.: шим. координат., несоб. крист. решетки, анал. свет.,
тран. p-n переход., электр. ед-ва микр.

Зондовые микроскопы

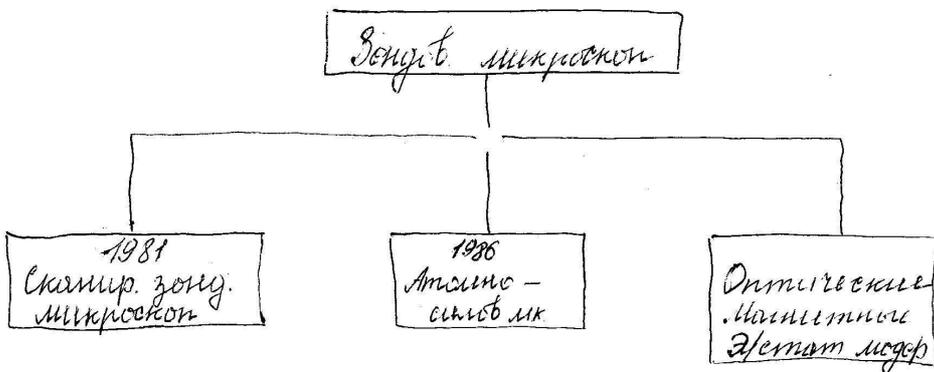
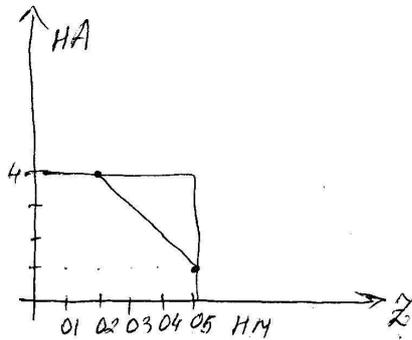
Размеры и допуски
(прим. ст 19952)

Разм. анал.	130	100 (855-65)	70	} Диаметр элект. м-ны зондовые микроск. (ком. зонд. СЗМ)
Допуск	13	10	7	
Точн. ст.и.	1,3	1,0	0,7	
	2004	2007	2010	

Сканирование зондовых микроскопов.



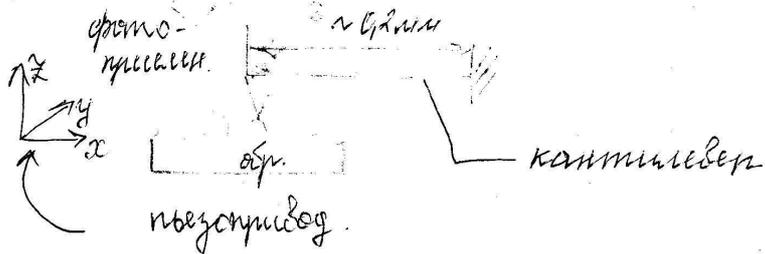
Для послед. обр. служит зонд - микроскопа с радиусе закруг ~ 10нм, зондировать по коорд. x и y и z пьезоэлектр. приводом в рабочем поле 4 на 4 мкм (x и y - строки и кадры) постав. уменьш. раст. & можно обскрив. при увелич. того раст. & 1нм в электр. цепи возн. ток величины порядка 1нА. вытисня этого тока. задвигать или растит и изым. в 10 раз при измен. раст. на 0,1нм.

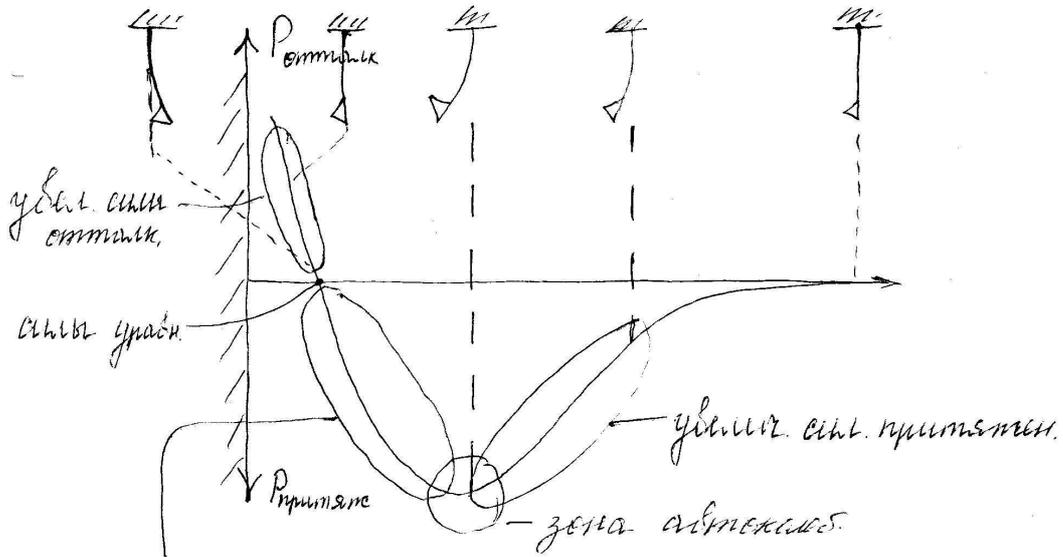


Атомно-силов. мк

СЗМ огранич: только провод. матер, вакуум.

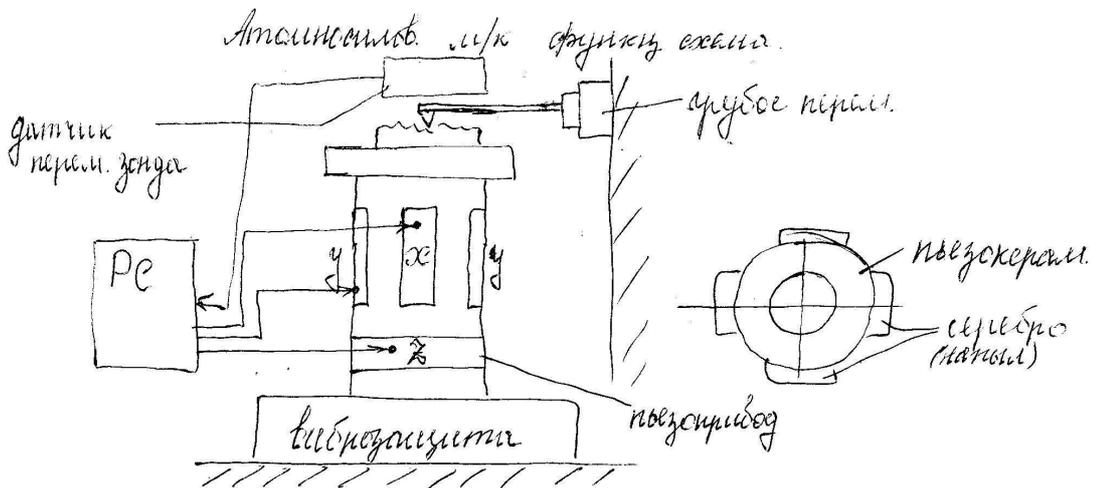
Принцип работы атомно-силов. мк основан на силе взаимодействия при взаим. образцы и зонды, который закреплен на упругом подвесе - консольн. балке.





Уменьш. сил притяг.

По мере сближ. зонда с пов. образ. возр. сила притягиван. (сила Ван-Дер-Ваальса), но затем начинают влиять электр. облака и сила отталки., начинает уравни. силу притягиван., затем преобл. над ней. Теоретич. зонду не может косн. пов. образ. т.к. он подв. на упр. балке.



Область прикл.: реальное 3х мерное изображение, распред. по поверхн. стат. зарядов. в отличие от туннельного м/к можно измер. перем. микрон.

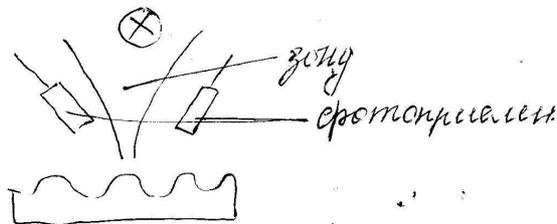
Индентография.

Туннельный микроскоп подв. выш. микроскоп работы на уровне нанометр. разн. (боковое перем. атомов, удлин. атомов, присоед. атомов), диаметр пучка туннел. e^- 1-1,5 нм, подавая напряжение на зонд напр. можно вызвать джонсоновский эффект из атомов обр. активной и пассивн. э-ты м/к с разн. проводимостей. напрядн. λ нанометров (20 А) на основе нанотехн. решают эффект в тесн. контакт на 3-4 нм передка проводящ. цуциета.

Ближесканиющая

сканир. оптич. микроск.

Чел. глаз. видно. Оптич. волново. напрел и волн. до миллионы 10. λ нм. налур. зону сканов и исп. как свет. микр.



Разреш: 0,05 мкм
Светов. волн. 0,5 мкм
Разреш. способ. попереч. 15 нм.

Миниатюрной микроскоп

Для десятикратн. увелич. к мал. выш. и зонд напр. тесн. контакт сферическими тисками.

Электр. стат. елем. м/к

62

Миниатюрной микроскоп. и зонд при тесн. контакт. работ. между обр. и зондом стрелу напр. электрич. стат. поле.

Международн. эталон не разработ.

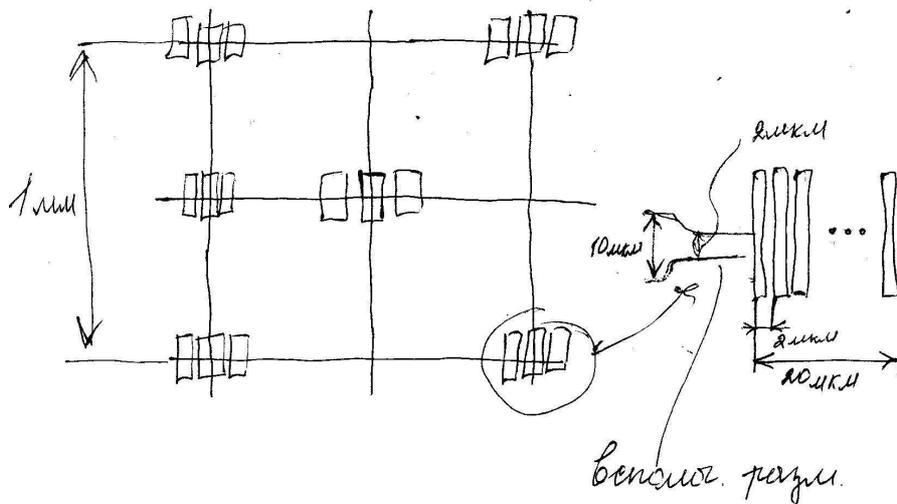
Образцов мера - в микроном и нанометр. диапазон. должна быть единой РЭМ (растр. электр. микроскоп.) и АСМ (Атом-сил. микр.) в области растр. микроскоп.

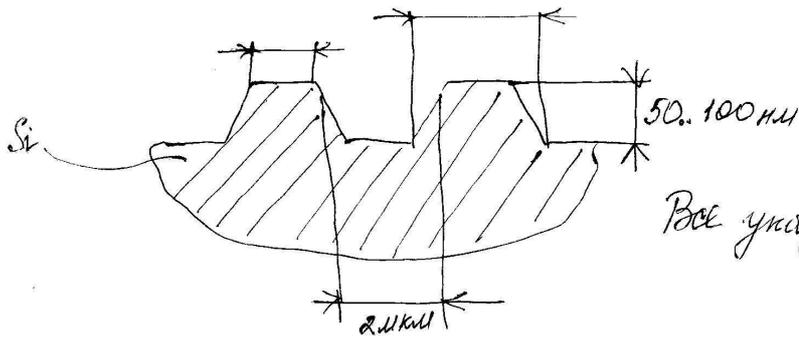
меры существ. давно:

1) Точн. недост.

2) Невозм. для АСМ.

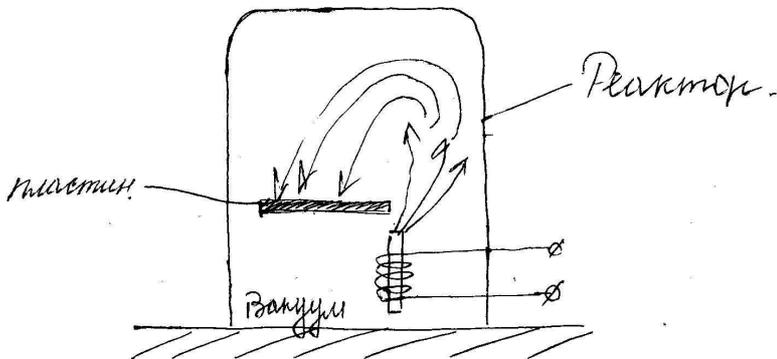
На площади 1×1 мм по углам квадрата и в центре расположено 5 модулей каждый из кот свет из ЗОЕ идут штрихов. каждая щуп. штрихов свет. из 11 канавок протр. на поверх. края канавок с шириной 2 мкм. Траншеи канавок - трапециев. глубина 50...100 нм. Образцовая мера изготавливается на растр. электр. микроскоп. СКО кот. ≈ 1 нм; Погреш. аттест. 1,5-4 нм. Для аттест. ип. методы интерферометрии.



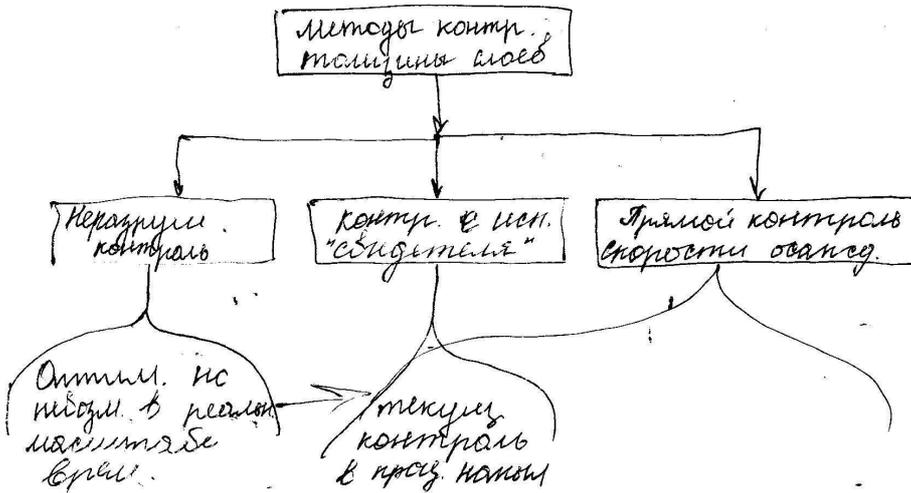


Все указ. разн. 2.2 мм

Контроль толщины слоев.



Твердотельные атом. пучки термич. испарен. в вакууме матер. будущей слоя с послед. конденсацией паров на поверхн. пластины.

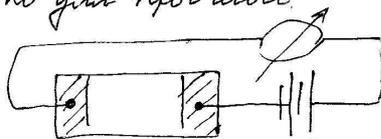


Резистивн. М.
 ёмкостной М.
 микроволн.
 оптич.

Резистивный метод.

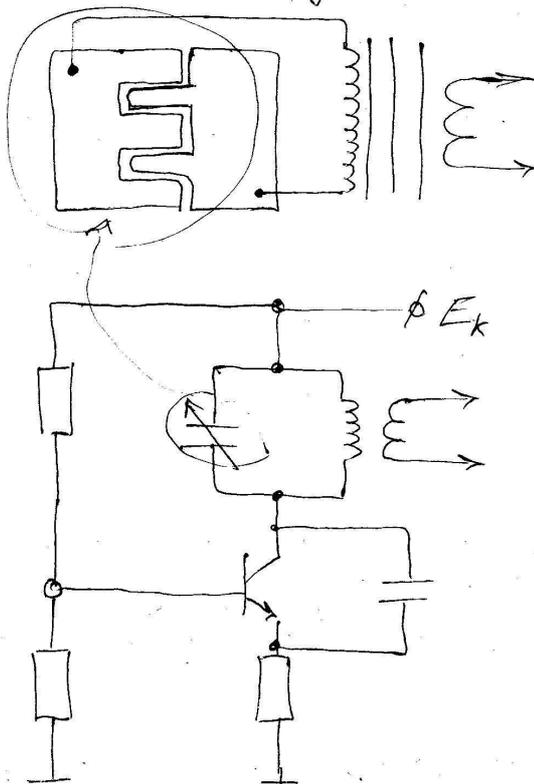
В реакт. ряду с пласт. уст. контрольн. пластины из диалект. → свидетель на края кот. напыл. проб. электрода. толщину напыл. для контр. по вал. внешнего сопрот.

Метод применим только для проволоч.



Ёмкостн. метод

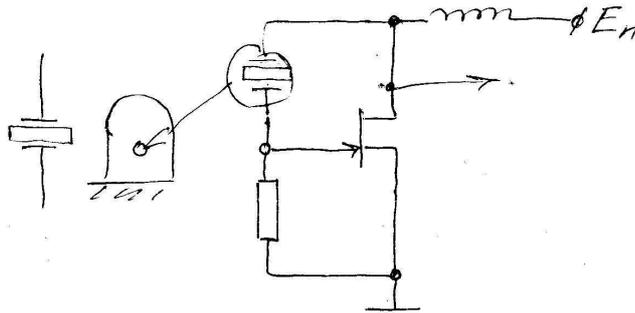
Для нитров. слоев в качестве свидетеля исп. пластину предств. собой конд. ёмкость кот. зависит от толщины напыл. нитров. для контроль произв. по относ. велич. резонансной част. колеб. контура кот. является свидетелем.



Микроузел

В каскаде сигнала сигнал кварц - кварцевый резонатор включен в схему генератора.

Кварц - крист. кварца тонкая пленка для электропроводности и вынос. в схему с обр. связью предст. аналог механ. устр. типа контурной.



Если на кварц. наносить слой то рез. част. будет изм. пропорцион. массе слоя.

Рабочая част. $\approx 10.5 \text{ МГц}$ резон. част. $10 - 100 \text{ МГц}$.

разр. слое. - $3 \div 5 \text{ нм}$

Точность. 2% ; при необх. получ. 1% - термостабильн. кварц.

Наиболее развр. метод контроля слоя

Оптический метод

Фотометр

Оснв. на задан. пропуск. от толщи. слоя нанес. на прозр. субстрат, контроль ведит. в белом свете по измен. сигнала на выходе фотоприемн. воспр. свет. поток прошедш. через субстрат. Метод применим для нитр. слоев.

Интерф.

Для освещ. прозр. слой монохром. светом коэф. пропуск.

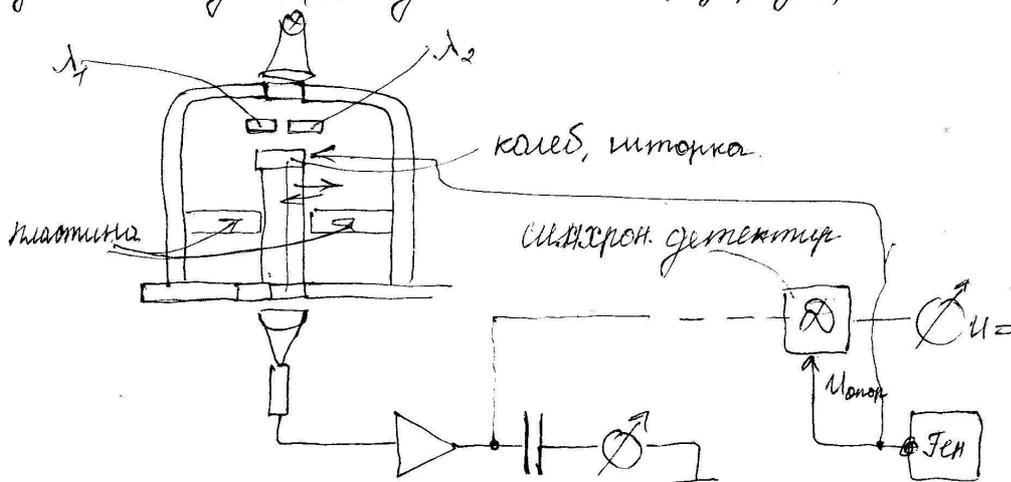
Обучающ. интерф. в пленке. В процессе нанесения.

коэф. пропуск. пленки приосл. изм. с шагом $\Delta n = \frac{\lambda}{4n}$.

Для текущего контроля необходимо в процессе изготовления
затяжки в процессе пропускания самонагрева или в качестве
калиб.,

Метод 2-х

Из белого света светофильтрами выдел. 2-волны. λ_1 и λ_2
на кот. интенсивность прошедшего света при задан
толщине слоя один. (метод биен - интерференция)

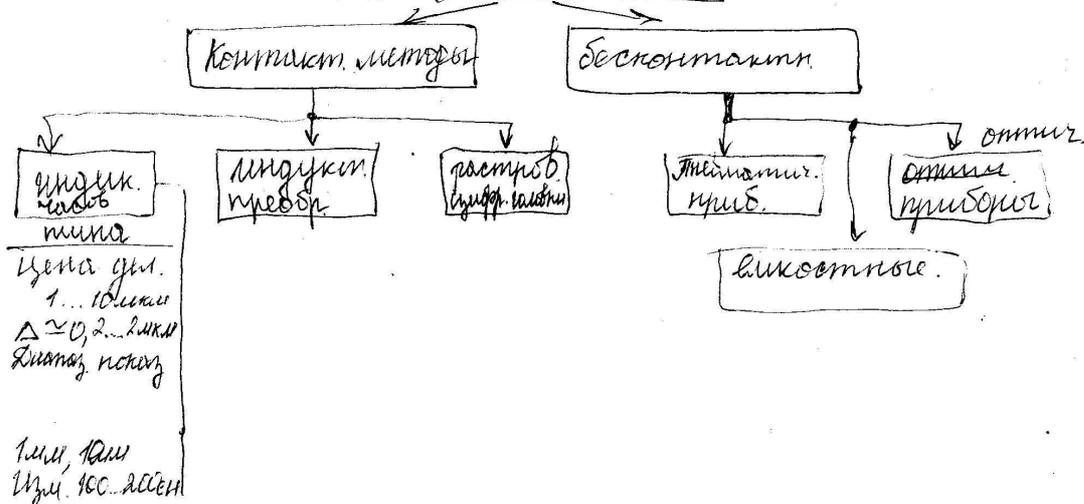


$$f_{\lambda_1} = f_{\lambda_2} \text{ модуляции отсут.}$$

Контроль Т/Т пластин.

Контролируется: Толщина, прооб, шерохов, небезн. рефрак.

Толщина пластины



Индукт. преобраз:

ЦЗД: 0,1; 1; 10 мм;

$$\Delta = \pm 1/2 \text{ д.}$$

Кванзон: показ. x (50...100) мм;

Цифров. выход; Изм. сила: 50сн

Раструб:

ЦЗД: 1мм; (дискета)

$$\Delta \approx 1 \text{ мм}$$

К. показ $\approx 50 \text{ мм}$

Изм. сила: 50сн

Бесконтактн. методы:

ЦЗД: 0,2... 1мм;

$$\Delta \approx \pm 0,2 \dots 1 \text{ мм}$$

Контактные средства измерен.

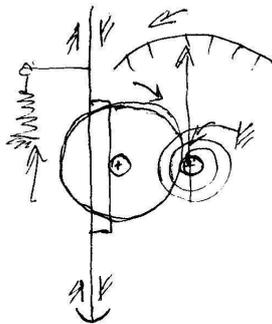
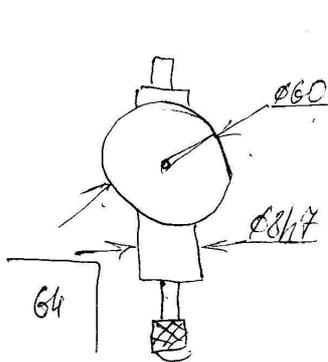
Истощ. конт. сн. в наст. время архивн. и свдент.

о низком уровне технол., недост.: опасн. поврежд.

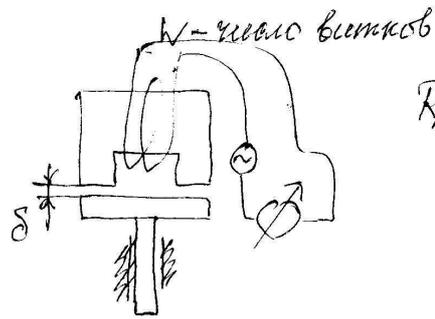
пов. магн. изм. наконеч., стелит (металл) цифров. выходы

Костомонтаж: низкая стоим. (покупка и обслуж.)

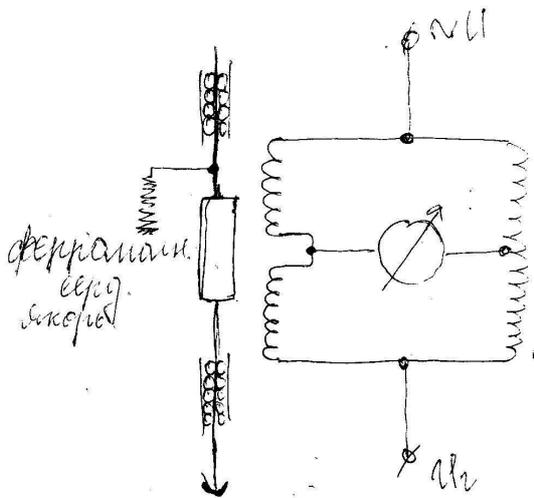
Индикатор часов. типа (механич. зубе индикат. ЦЗД: 1мм)



$$\begin{aligned} \text{ЦЗД} = 10 \text{ мм} &\equiv 10 \text{ оборот.} \\ \text{стрелки} &\equiv 10 \text{ мм} \\ \Delta &= \pm 2 \text{ мм.} \end{aligned}$$



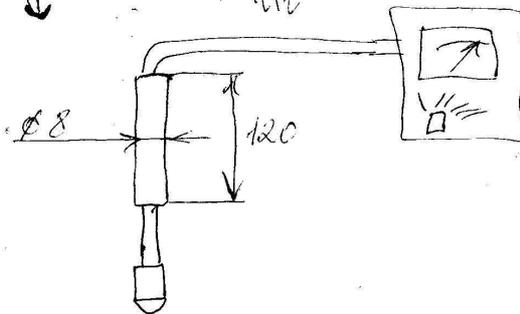
$$R_k = \frac{W^2}{R_0}$$



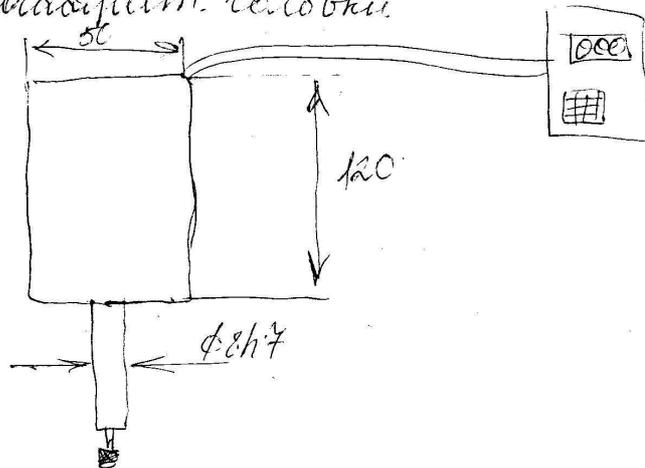
Изм. сила $\geq 50 \text{ мВ}$.

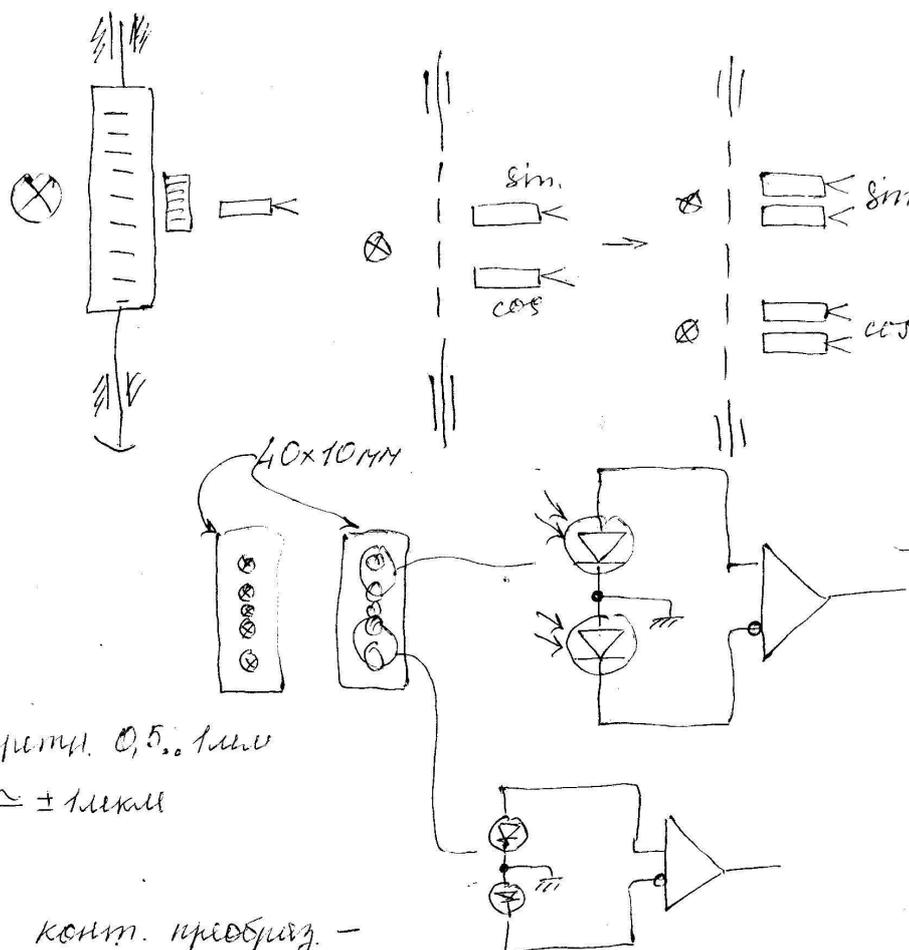
Квант. показ
опр. мин. участка
ссылки $\approx 1 \div 5\%$

Уг. дел. перекл. на 80%



Расчет маломощной катушки





Перечисл. конт. преобраз. -
 - "галочки" "галочки" - устан.

1) В стандарт. стойку. Тип стойки - выбор стойки
 опред. ценой длины. Стойку выбор. из каталога
 где этот парам. вход. в число n-ров стойки

2) Галочка может уст. в чис. предел. отст. примен.
 для конкретн. издел. исп. термин. измеренн.
 позиции

В сист. применособи. входит устр. закрест.

и базир. платинка исп. 2 варианта. Механич.

и клеммник (вакуум)

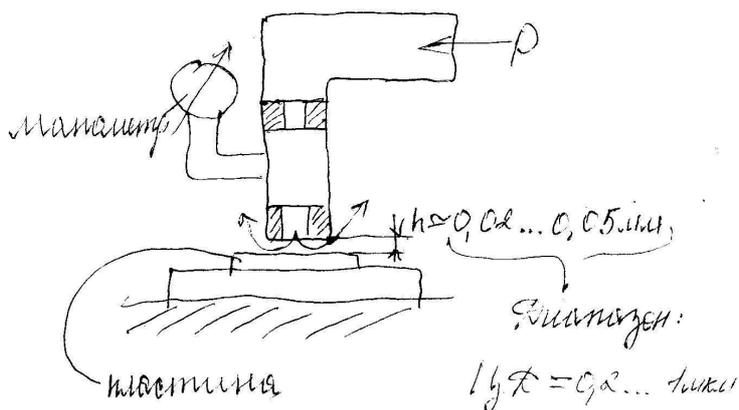
Бесконтактные методы.

Трибологические средства измерения.

Статич. воздух ~ 5 атм. пост. иск. - есть трубка проб-
на все машин. строят. произв. стат. воздух иск. в
затяжн. приспособл. в инд. измер. устр. в направл.
с осев. воздухом ~~##~~

Триб. средст. изм. пост. равн. электр.

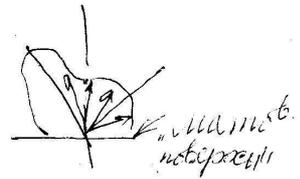
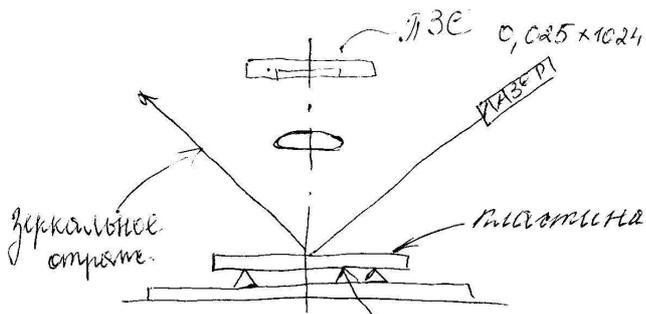
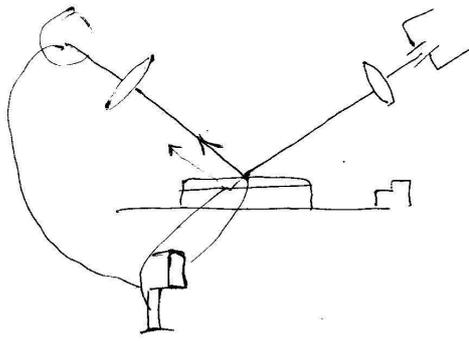
Триб. действующие основ. на разн. габ. в искр. обьем
от скоростей пост. и вытек. воздуха.



Витяз. башн. наемн. иск. в миллиметр. и приб.
отрасленн. краем пробр. в качж. элемент в иск.
устр. для осметки и стабилн. и искр. устр. в иск.
на стрелочн. приб. и электр. выходы выноб. сигнал
при переходе через тран. дет.

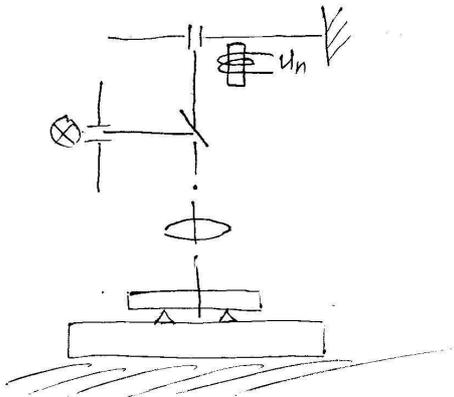
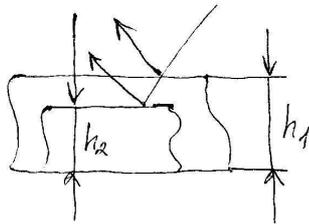
Оптич. средства изм.

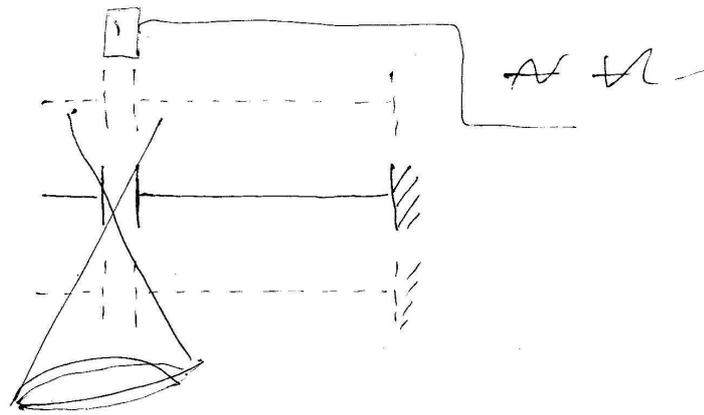
иск. метод светового измерения.



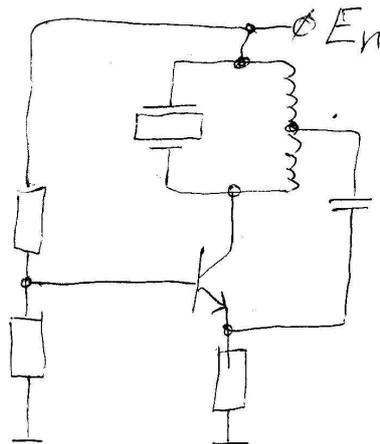
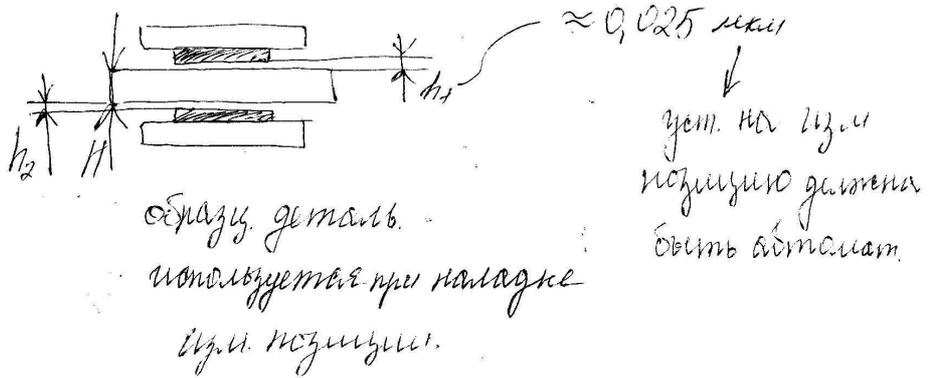
рабочая потеря R_2 С, СФ5

(высота микропроб. \leftarrow длины волны света)





Симметричные преобраз



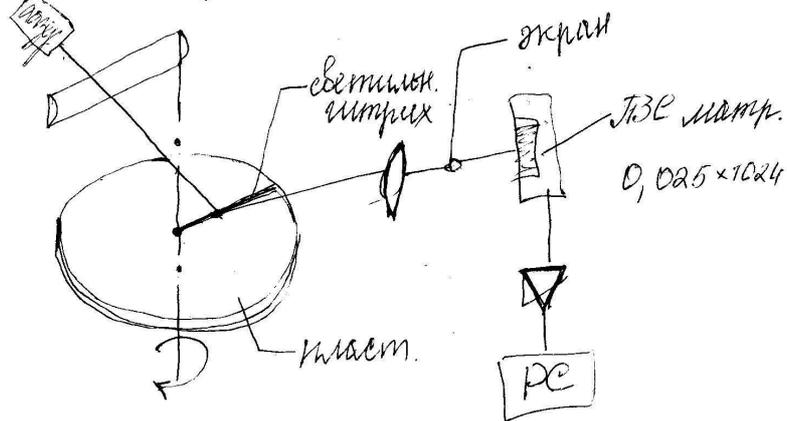
Сдвин част. -
- функции
 $B = (h_1 + h_2) - (h'_1 + h'_2)$
наладка ширины.

Контроль потерь

- а) градиент.
- б) адгезия.

а) Выт. на мет. графф. микроскопе выделено крит. кол. - во дефектов в поле зрен. поле зрен. $\approx \Phi 0,25$ мм обычно 5 точек на пласт. по углам квадр. и в середине

Уст. для авт. контроля



На французской пласт. цилиндрич. линзой проецир. светл. щель, которую была бы безд. на ЖВМ матрица. если бы экран не перекр. зрительн. отрат. лучи свет на ЖВМ матрица. попад. только будучи рассеян. дифркт. на контр. пов. (как только в луче сам. света)

Димитриадис

Контроль слое в толщиной 1000... 5...2 мкм
пробл. если кон. излуч. с длин. $\sim 0,5$ мкм

Эмит. трипл. для измер.

- 1) Толщина
- 2) Коэф. прелом.
- 3) Диэлектр. прони.
- 4) Конеч. почит. заряда

Принцип действ. осн. на изм. эллипсизма. параметр.
 Δ , φ кот. охаракт. осст. поляризу. излуч. при по отходе
от пленки.

$$\Delta = (\delta_p - \delta_s) \text{ изменение фаз}$$

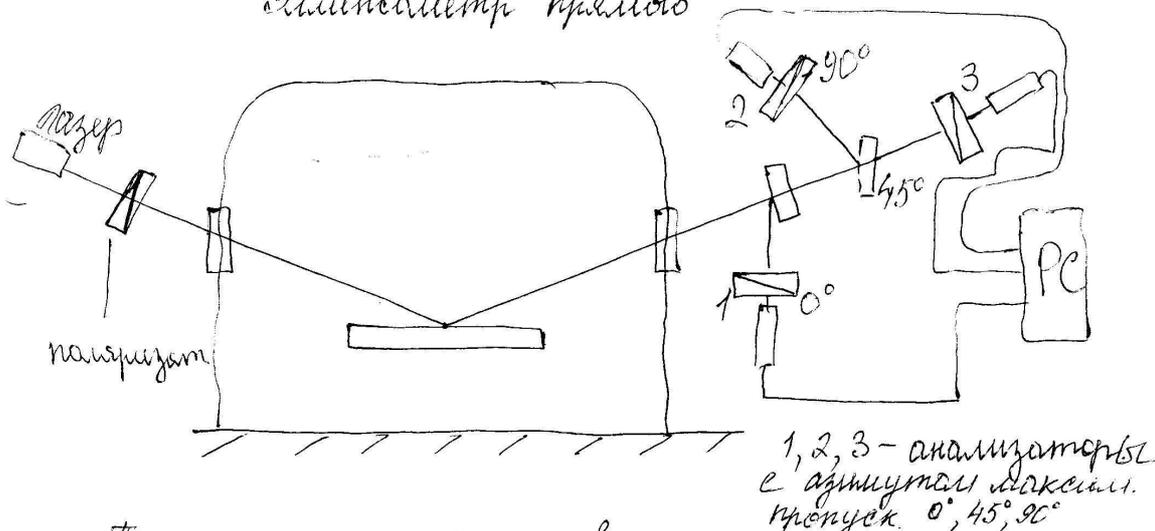
$$\varphi = (A_p - A_s) \text{ изменение амплит.}$$

электр. вектора. волны
поляризу. света

P - I блок. поляризу.

S - II блок. поляризу.

Эллипсометр прямого



По трем значен. интенсив. пропуск. каналов. дост.
можной вычисл. базис. можно определить
расчитать параметры Δ и φ по кот. решая обрат.
задачу поляриметр. обреш. значение параметров.

ВЫВОДЫ

В курсе лекций рассмотрены основные темы курса «Метрология и технические измерения в производстве ЭС» такие как: виды измерительных приборов, предназначенных для измерения геометрических величин, приборы и способы измерения номиналов электронной радио аппаратуры на примере резисторов, законы распределения погрешностей и зависимость точности измерения погрешности от количества измерений.

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Колядой Ю. Б. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к зачету по предмету «Метрология и технические измерения в производстве ЭС».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксенова Е.Н. Курс метрологии в производстве ЭС. –М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
2. Бесекерский В. В., Сорокин В. С. Метрология, стандартизация и сертификация. –М.: Высшая школа, 1986. –367 с
3. В.В. Ефимов., Хохлов А. Ф. Спираль качества. –М.: Высшая школа, 2000. – 494 с