



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

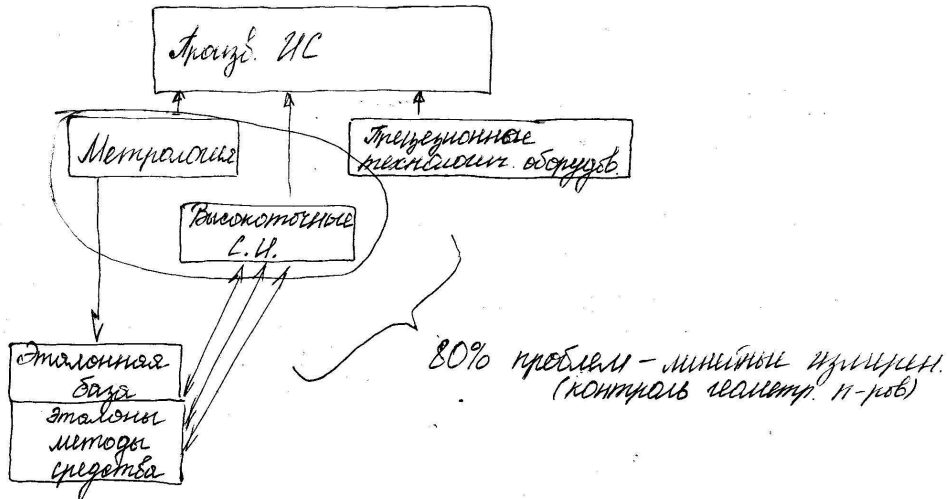
(06.09.2007)

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

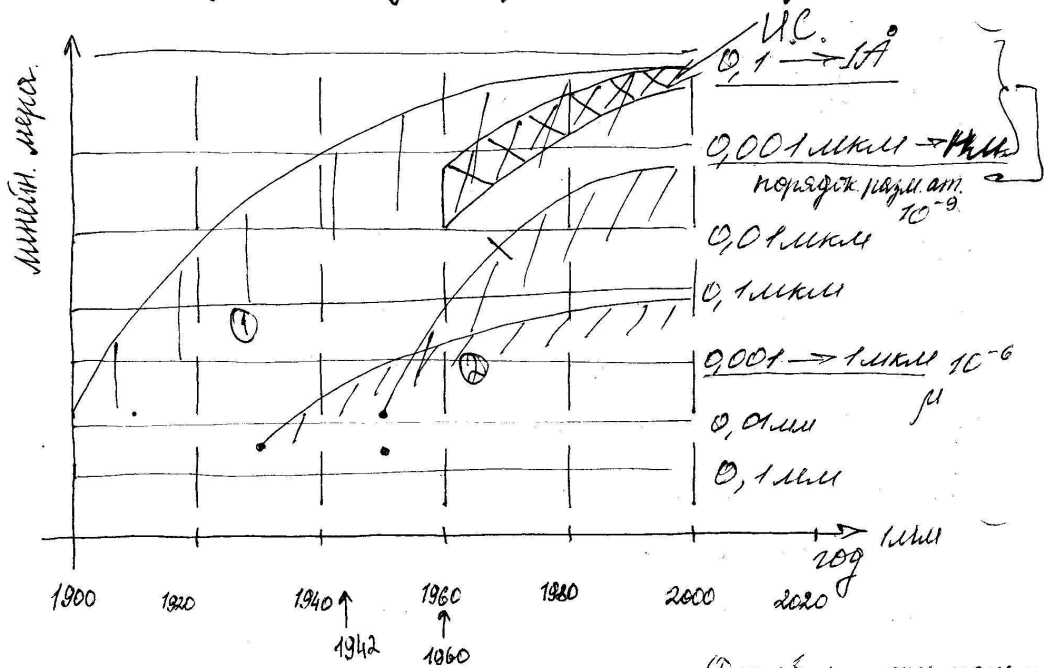
- Сазанов А.А. "Измерен. и контроль в м-э"
- Калишко В.М. "Контроль в технол. м-э"
- Кудряшов В.А. "Измерения в электронике"
- Шенк Д. "Теория измерений жеперим."
- Моряхов О.С. "Эллионная обработка"
- Клоаасен К.Б. "Основы измерений"

Основное содержание курса.

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



## Эволюция предельн. знач. погрешн. измост.



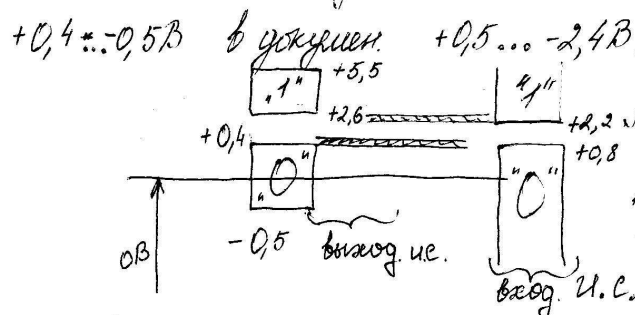
1942 - Bell Telephone <sup>Bell</sup> изобрет транзистора  
 1960 - Начало произв. И.С.

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

## Требов. к точности воспроизв.

„0“ и „1“ в логич. елем. ТТМЛ.

„0“ - низкий потенциал СВ, „1“ - высокий потенциал СВ



любое значение выше +2,2В чит. как единица;  
 любой сигнал ниже 0,8В чит. как ноль.  
 Точность воспроизв. логич. 0 и 1 на 80% от пред. точности измерн. параметров.

Толерантность ТТМЛ: 0,4В - амплитуда наимен.

при кот. еще не происходит сбоя.

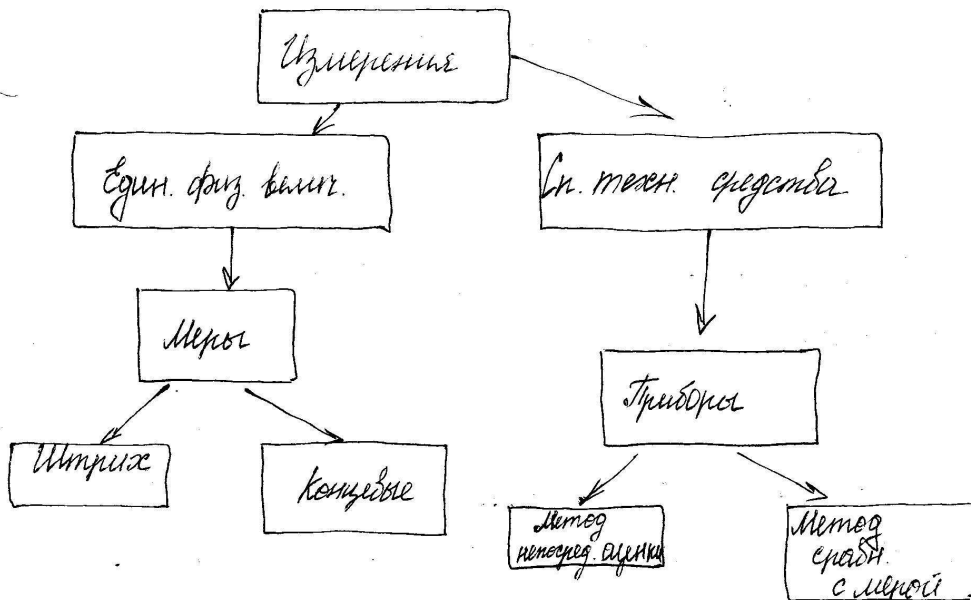


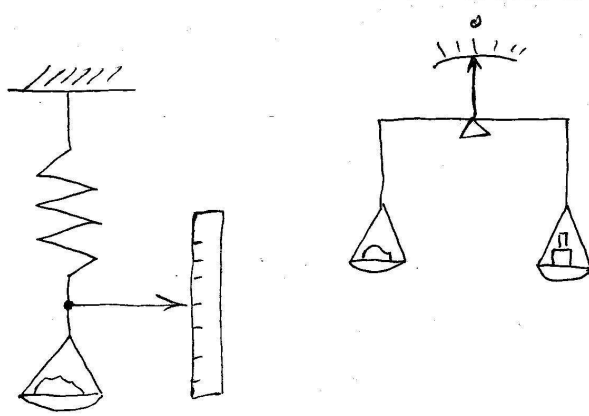
Проблема произв. И.С. : обл. ① как правило не дост. объема  
 - эталон. базой мерам и средствами измерения, тогда как  
 в области ② переизмеряемое определяет произв.

### 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. разн. изм. величины.



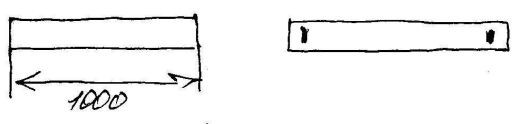
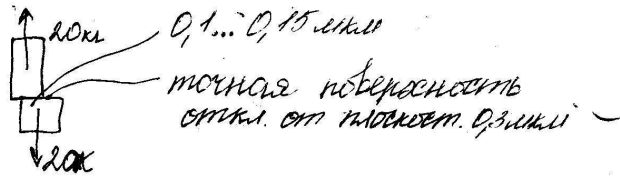


Концевые меры

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. <sup>мер.</sup> - откл. погрешн. аттест. к.м.

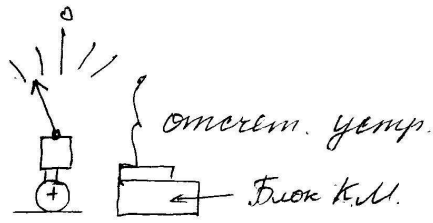
Купленный набор конь. мер за ден. плату может быть аттестован. В аттестате указывается действ. размер конь. меры

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 ширине (лаб. 2.2)



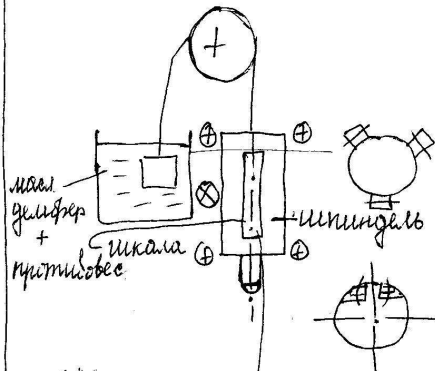
результ. = отсчет + р-м блока К.М.

Лекция №2

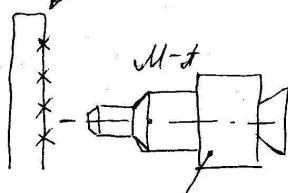
(13.04.2007)

Конструкт. реш. изм.

Метод. измер. сферич.



Шт. цена д. 0,1;  
Вз. мин. цд. 0,0001;



интервалметр  
+ устр. надеж. на шпindle

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

Метод. срабн. с лерной

Миллиметр

200



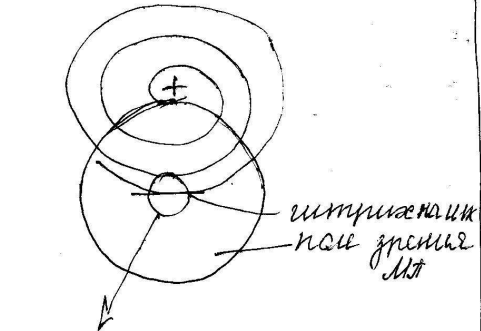
$$K_{\text{ув}} = \frac{200}{0,2} = 1000;$$

± 20 мкм

0,2 мм

Вертикальный отсчет

± 100 мкм



$a = b$   
 условие совпадения  
 начала отсчета интервала  
 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!)

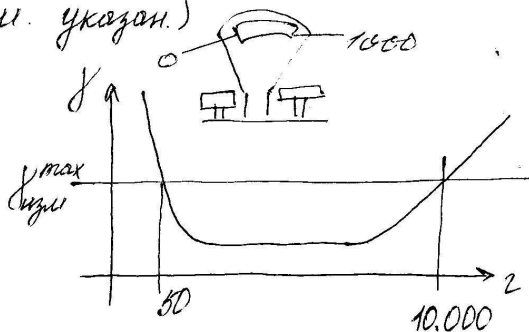
- | 2) Диапазон изм.
- | 3) Диапазон показ.
- | 4) Измерительная сила
- | 5) Цена деления

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 конем. знач. шкалы.

Вертик. диаметр:

Ф.п. 0..100 мм

Ф.и. с..200 мм — измер. к. л.

~~Нет~~

Измерит. усиле :

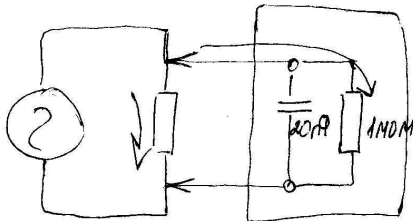
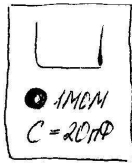
Микрометр: 700г

Верт. динн: 50, 150г — шенные цуфы

Оптиметр: 150г

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

При любых изм. средой изм. возд. на изм. в-ну. вносе в результат. изм. погрешн.



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

### Точность измерения

Точн. измерен. ≠ точн. прибора!

Точность изм. — количеств. понятие

Точн. изм. — количеств. понятие.

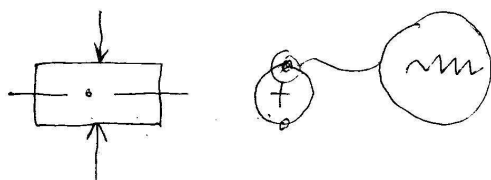
Низкая точность характ. цифрой с точки зрен. град. погреш. этих терминов. (Низкая говорить: „точность низка“)

В быт. практ. это правило нест. наруш.

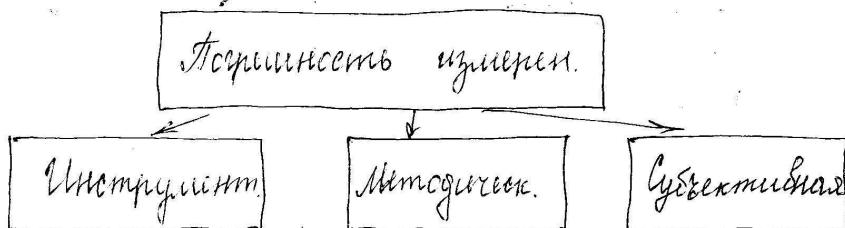
8

Точность — разность между результатом и истин. знач. изм. величины.

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



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



Исриинность  
 прицу. прибору  
 указ. в паспорте  
 и впрод. метс  
 приборе в  
 поверочной схем  
 зей величину  
 это погрешн.  
 отвечает.  
 Иср. ачуба  
 поверки или  
 проц. приб.

0,7

Исриин. кот.  
 не может быть  
 приписана  
 прибору и  
 способу.  
 выбран. мет.  
 измерен.  
 зей велич.  
 отвечает  
 жепрми. стандарту.

0,3

Исриинность  
 внесиная старат.  
 (не связан. с его квал.)

Прим: удобн. старат.  
 учтр. такки  
 ретосн. - утишамн.

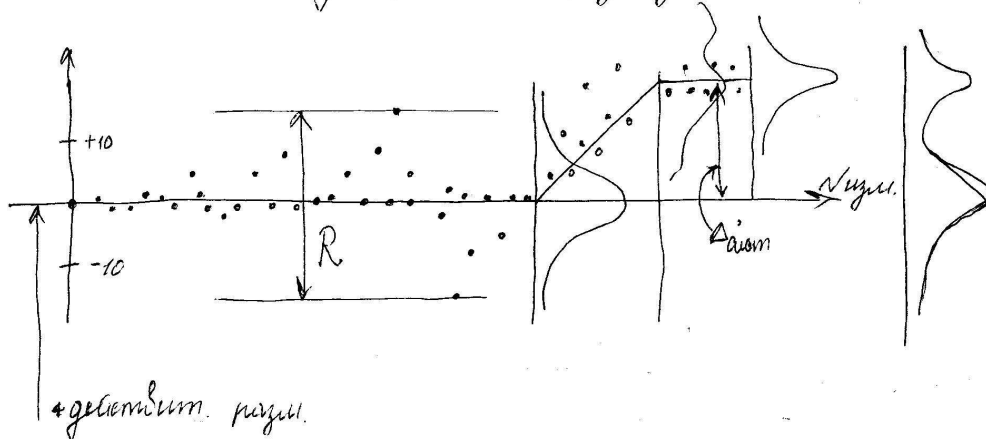
— Лекция №3 (20.03.2007) —

Вероятности, характ. точности измерений

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

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

Полная дисперсия рез. измерен.



Вероятности, характеристики

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

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

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



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

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

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

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

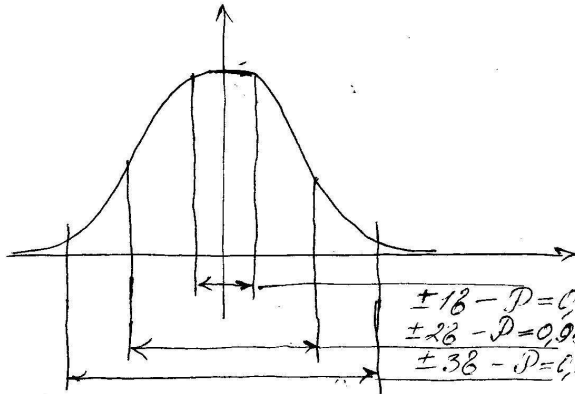
Генеральн. совокупн. - бесконечное количество измерений.

Выборка - не имеет генеральной совокупности.

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

$\sigma$ -тр  $\sigma$  и различия законов распред.

1. Закон Гаусса (нормальный закон)



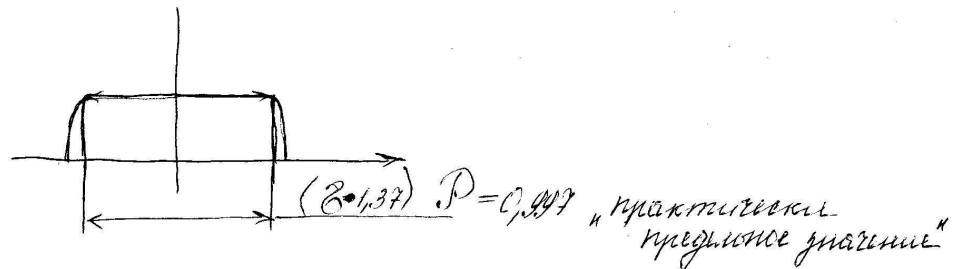
Доверит.  $t$ -ть - вероятн. того, что  $n$ -т измерен  
ни выйдет за гран. указ доверит. интервала.

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

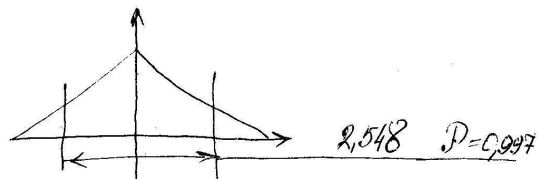
Приборостроение  $\pm 2\sigma$   
(наст. прибор)

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

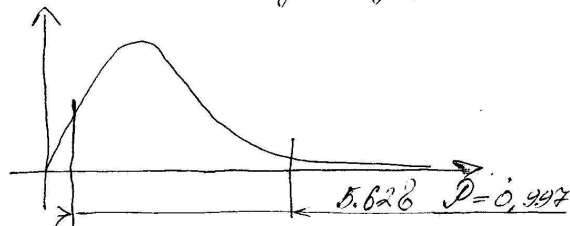
## 2. Равномерное распределение



## 3. Закон Симпсона



## 4. Закон Максвелла (для ср. частот. выток)



## Обнаружение неслучайности

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



12

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

систем. точнее. наиб. точн.  
 - т.к. для ее обнаруж. неск.  
 разностей более точн. ср.  
 измерен.

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

разность между изм. ЗО

Выбор средств изм. по точности.

Производство (мелкие изм.)

$$\Delta_{изм} \leq \frac{1}{4} T$$

T - допуск на изм. (tolerance-gauge)

Испытание (жесткий)

$$\Delta_{изм} \leq 0,1 R$$

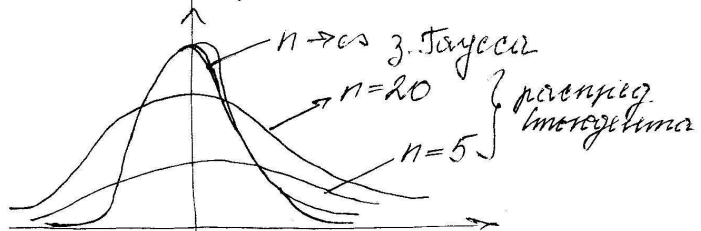
R - степ. дисперсии разн.

— сред. жерем.

0,1 - степ. посл. прил. к  
 точк. на диапазоне разн.

Распределение Стюдента.

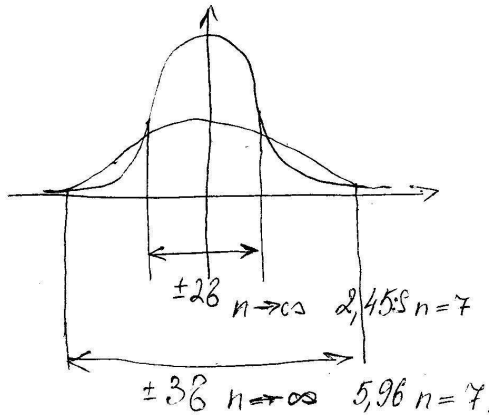
При малом числе изм. статист. характ. изм.  
 $(\bar{x}, S)$  становится сам. случайными величинами,  
 а форма кривой становится зависимой от числа  
 измерений.



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

$\Delta_{\text{сист}}$

2. Определяет сист. погрешность.

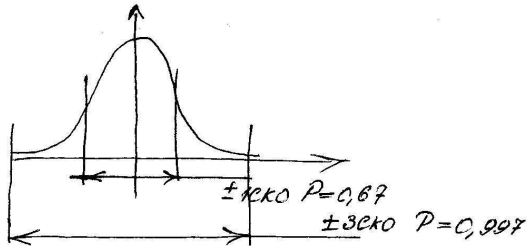
2. Находят средн. рез. изм.:

$$k_0 = \frac{\sum x_i}{n}$$

14 } 3. Коэф.  $k_0 = \bar{k}_0 = k_0 - \Delta_{\text{сист}}$

4. СКО однократного изм.

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



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

5) Уменьшает 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. содержат - форма записи:

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

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

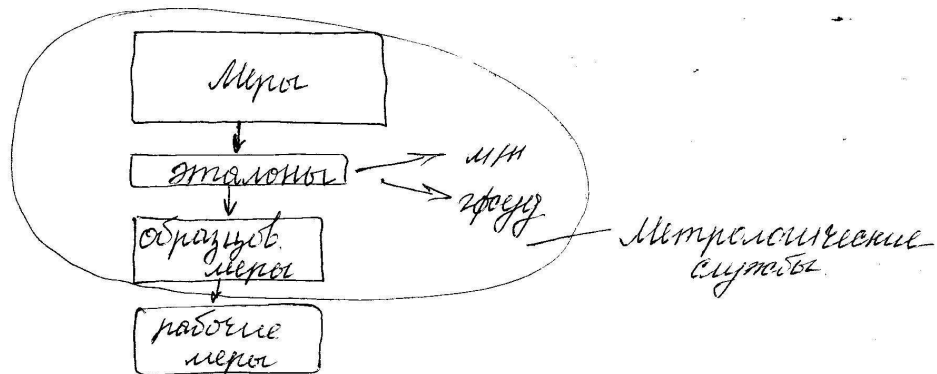
Единица измер.

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

Как воспроизв. физич. величин. мер. мерок

Единица мер достат. измерения мер на год.

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



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

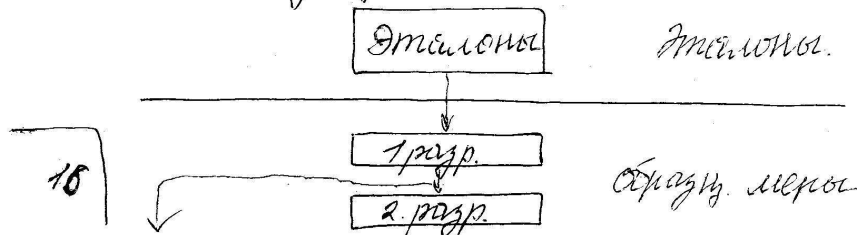
Обр. меры - для передачи един. физич. величины от  
 эталонов к раб. мерам

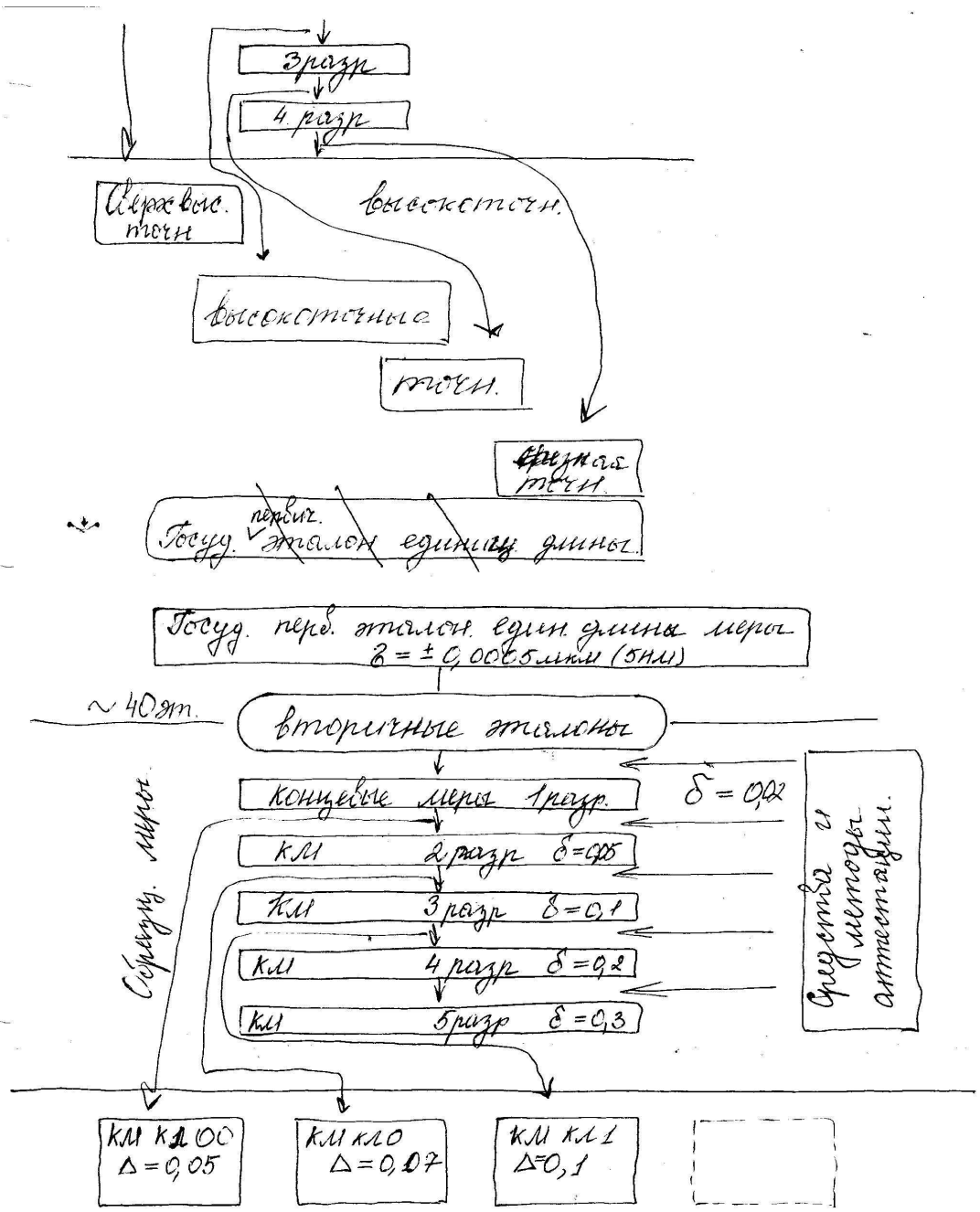
Раб. меры - предн. для вытаци. измерен.

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.





Аттестация погрешн.  
 Верт. мерц.  
 Верт. длин.

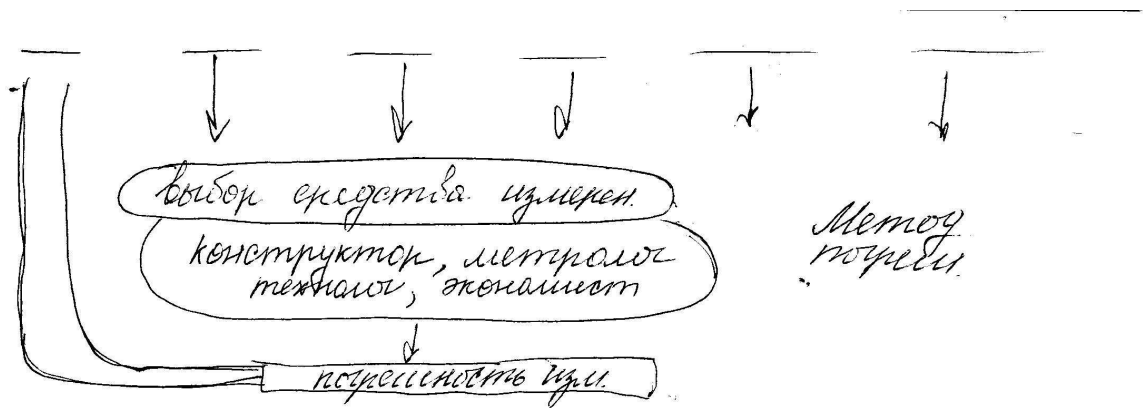
Верт. мерц.  
 $\Delta \approx 0,2$

Верт. длин.  
 $\Delta = 0,2$

Микрош.  
 $\Delta = 4 \text{ мкм}$

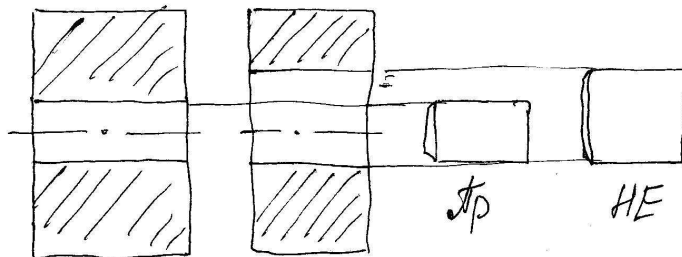
Все средства включаются в ис. отчет. и прих. ис. пометку.

18

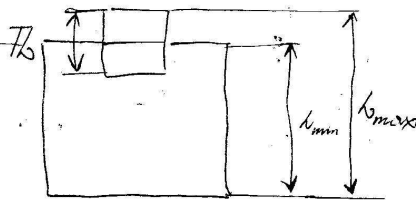
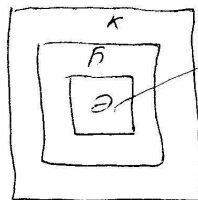
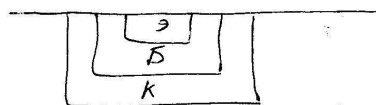


Влияние погреш. измерен.  
 на рез. контроля.

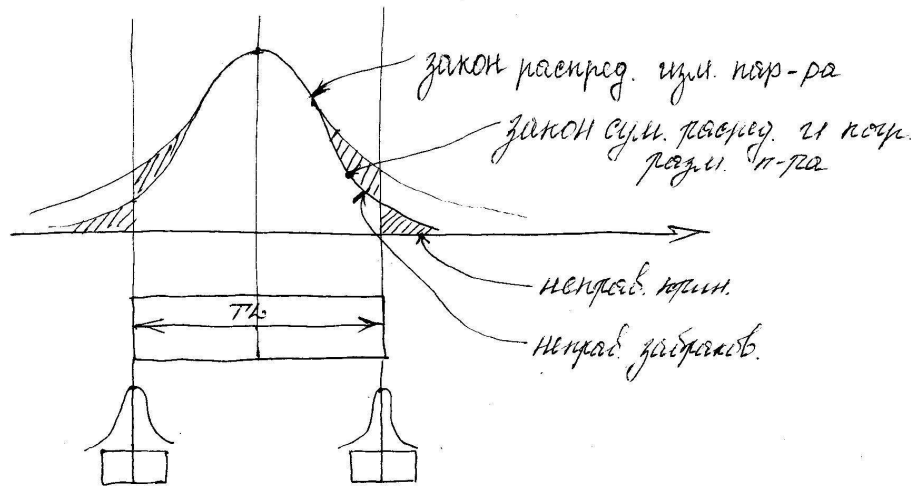
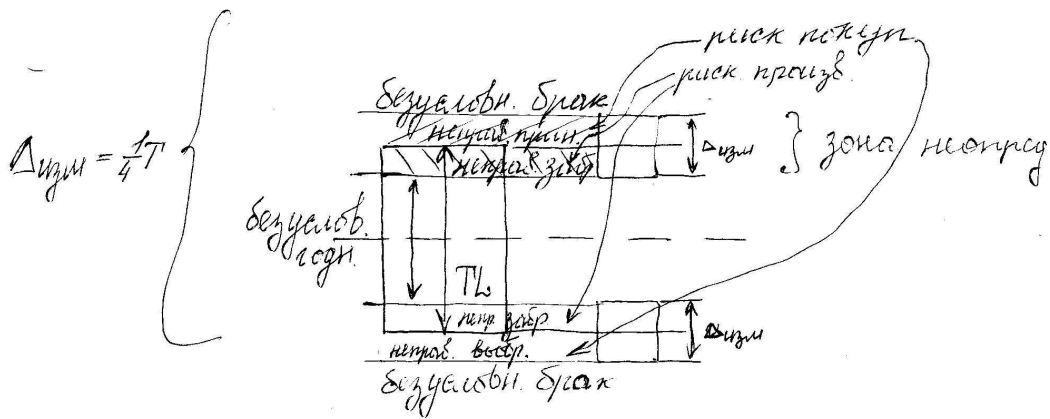
Точные изм. имеют целью установить соответствие действ. размера предельным знам. допуска зад. в дождли.  
 Контроль годности



Лекция №5 04.10.2007







Все трещины как композиции трещин, количество вероятности качества, норм. разброс деталей в процентах выхода за границу допуска в зависимости от нормы отклонения в процентах от номинала допуска.

Трещины в % от вкл. дпн	Валитина выхода за гран. дпн.	Кол-во шт. в 1 м. пр-те	Норм. кол-во норм. разброс.
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

Метралоги́ческие обязанности.

М.О. уст. и приме. научн. основ. предельн. и нормы. и техн. сред.  
ств. необход. для дост. треб. точн. и единства измер.

В МО входит:

- 1) С-ма гос. запаса. Включает: средства измерен. по  
результ. кот. они внос. в сев. Реестр и копию реестра.  
на скреплен. вкладыш и в штамп в поверочной книге.
- 2) Метралога. надзор → периодич. все средства измерен.  
использ. на контрол. в соотв. с поверочн. книгой (для  
каждого средства измер. уст. свой метрологич. штамп)
- 3) Метралога. экспертиза все стадии работ. произв. (шт-з, сбор. уч.  
таблиц, дек. и т.д.)

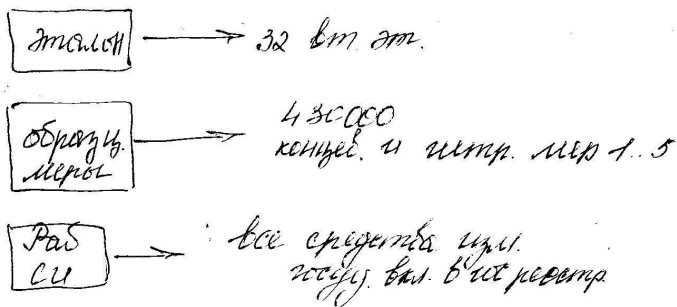
Италин. база мин. и град. величин:

В России: 3 гос. предприятия:

- су. длины, су. масс. угля, су. сферич.

Передает су. длины от эталона к раб. мерам воздуха с погр.

32 в том. эталонов и 430000 мер 1-5 разряда.



Минимум - длинный путь проход. светом в вакууме за  $\frac{1}{299792458}$  года  
 одна секунда (1 метр проход. светом за 3 нс.)

проект самолета: единый материал - форма - время - качество.

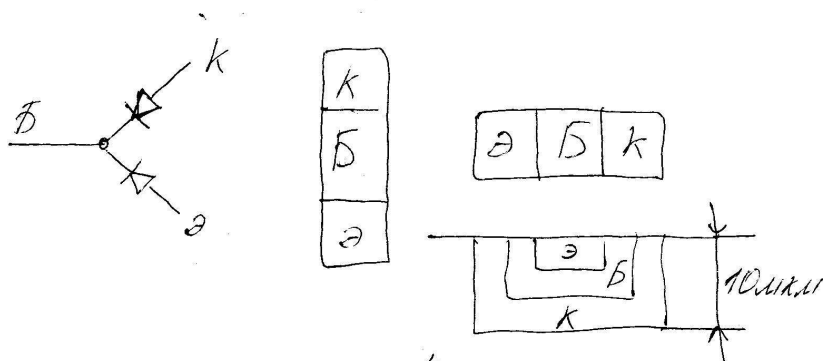
Фасетный самолет радона: 165L-763, 7.7 дин. волн Кэ86 в пустоте.

Объекты изобретения в промышленности ИС

1948 Bell Telephone - транзистор германий.

1952 - полупроводник.

1962 - микропроцессор.

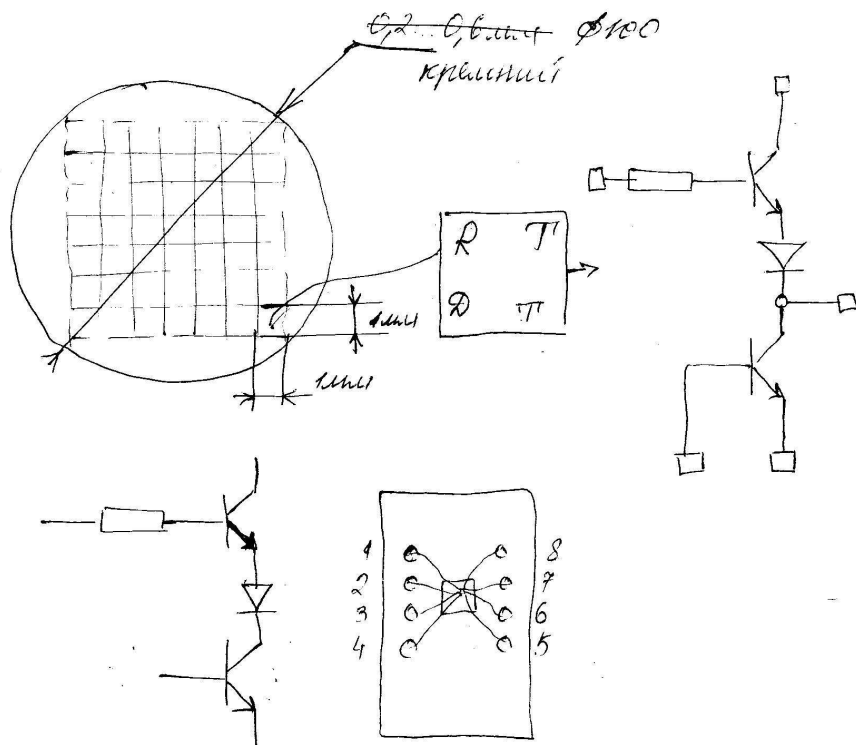


Планарная технология основ. на литье. поверхности пласт через маску акцентом и допускными принципами, в ред. слое под пов. пластина образ тонкие слои 1...25 нм с разным типом провод. (р и н) и р-п переходы на фран. слое. отдельные слои ион. как р-н переход, а на р-п переход. постр диода и транзистора

Литье. участки образ на пов. технологию

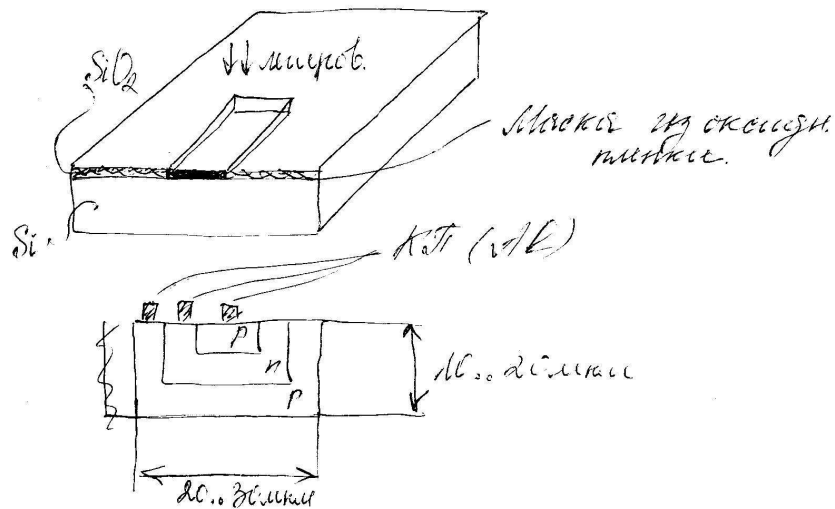
Литье. покрытие рисунка на пов. крист. слой. пленка из. флуоресцент. красителя в пленке протравлив. рисунок "маска" через кот. происл. литье.

Методом литье. наносим слой Аз через маску. рисунок.



ИС в керн. ~~mm~~ DIP

Кристалл. исп. пента, что эквив. точка на его пов  
исп. на всех этапах изг. микр. инт. калуге теми. свми.



Технология маск

В сен. проф. И. летит лент. пов. плавот.  
из монохромат. кривины через маску.

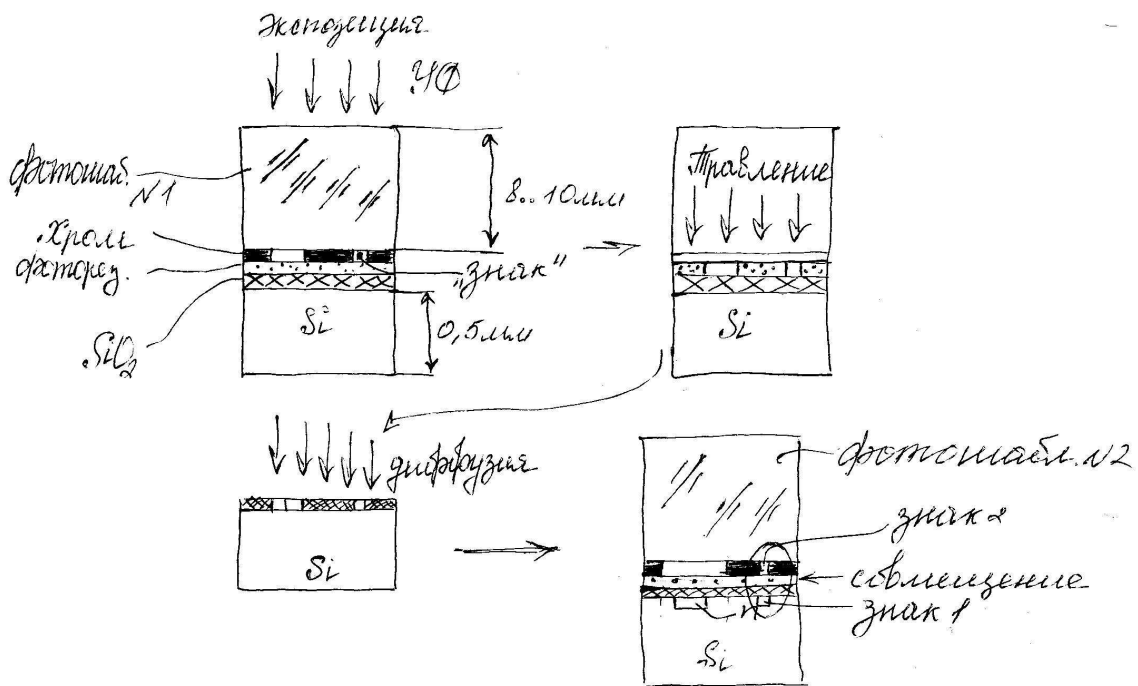
Требов. 2 тех. маск. полу. маск.

- 1) Фотолитография.
- 2) Электронная литография.

Операции:

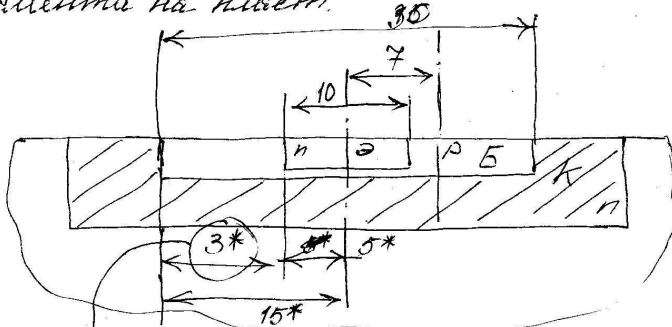
- 1) Сканирование
- 2) Тиньб фоторезиста
- 3) Совмещение с фотомаской
- 4) Экспозиция
- 5) Травка
- 6) Травление
- 7) Гибб фоторезиста
- 8) Диффузия
- 9) Стравливание маск
- 10) Тестер при 1-9 (тиньб. процесс 6-10 раз)

1. Окисление: на плавот. тунинг. окислен. слой. тунинг. из  $SiO_2$  - окись кремния ~ 1 мкм, 2) на пов. тунинг. окисль. фоторезист. которая в центре фотомаск. по плавот. слой. 1 мкм. 3) на пов. фоторезиста наносит фотомаску, совмещая его знаки со знаками полу. на предыдущ. опер.
- 4) Экспозиция ультрафиолетом
- 5) Травка и закрывание, после того в завод. масса. покрыв. окись фотомаски, полу. на фоторезисте. маск.
- 6) ~~Травка~~ через полу. маску травят окисль. до краев, на крайний трав. не действует. - полу. окисль. маск.
- 7) Через окисль. маску можно провести диффузию прим. с целью пайбуения.  $n$  или  $p$  тиньб. травка.
- 8) Стравливание окисль. маск.
- 9) Виз. полу. след маск. тиньб. окисль. пайбу. опер. с тиньб. по 9-10.



Точность совмещения.

Фотолитограф — это пленка на кот. фотолитографический рисунок передается с помощью тиснения. На каждой фотолитографической пластине за перед. реб. плен. толщиной 0,25... 0,1 мкм. фотолитографический рисунок. точность совмещ. 0,25... 0,1 мкм. разн. элементы на пленке.



миним. размер элем.

$$\Delta_{\text{совм.}} = (0,1 \dots 0,25) \cdot 3 = 0,3 \dots 0,75 \text{ мкм};$$

± 0,3 мкм предельн. мин. погреш. визуальн. совмещ.

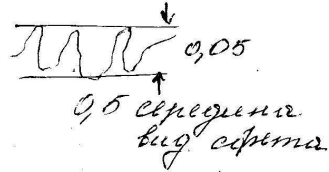
± 0,75 — практ. реализ.

Точность сборки округ. техник. возм. и  
 полагать уровень разд. отрезали на все уровни.  
 Так же как техн. подпит. элемент-ед. димен. мер.

Цифровые характеристики.

А. Ультразвук

- 1) Толщ. пласт.  $\approx 0,5 \pm 0,02$  мм
- 2) Мероспособность  $\approx R_z 0,05 \rightarrow$  высот. мм по 10 отсчетам
- 3) Промб. твёрдость в свб.  
 составные 4мм
- 4) Промб. пласт. в шит свет  
 (металл) 3мм (4мм)
- 5) Размеры дефектов 0,7мм  $\rightarrow$  макс  
 бит на 1 см<sup>2</sup>
- 7) Толщ. губ. аса (0,1..2мм)  $\pm 20\%$
- 8) Толщ. окисл. метал (0,2..1,2мм)  $-5\%$



Б. Фотоизмер

Ширина элем.	Допуск разн.	Допуск пробн. края	Допуск на сборку	$\frac{1}{4}$
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. фотоизмер.

- |  |  |
|--|--|
| 1) Традицион.<br>Кол-во эл. на<br>крист. до 10.000 | 2) Современ. техн.<br>Кол-во эл. на крист.<br>10.000.000 |
|--|--|

## Традиционная технология

- 1) На координатной сетке в масштабе 100:1; 400:1; на спец. пленке изготавливают положительную топологию
  - 2) Перенести спец. фотомаски 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.

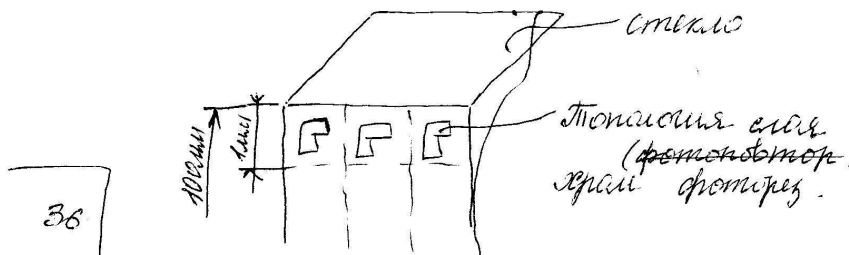
- 1) Оригинал изготавлив. в электр. микр. в масштабе 1:1, 4:1 на фоторезисте
- 2) Мультиплицир. (возм. увелич. на этапе мультиплицир.
- 3) Изгот. раб. копии

— лекция № 7-8 —

18.10.07

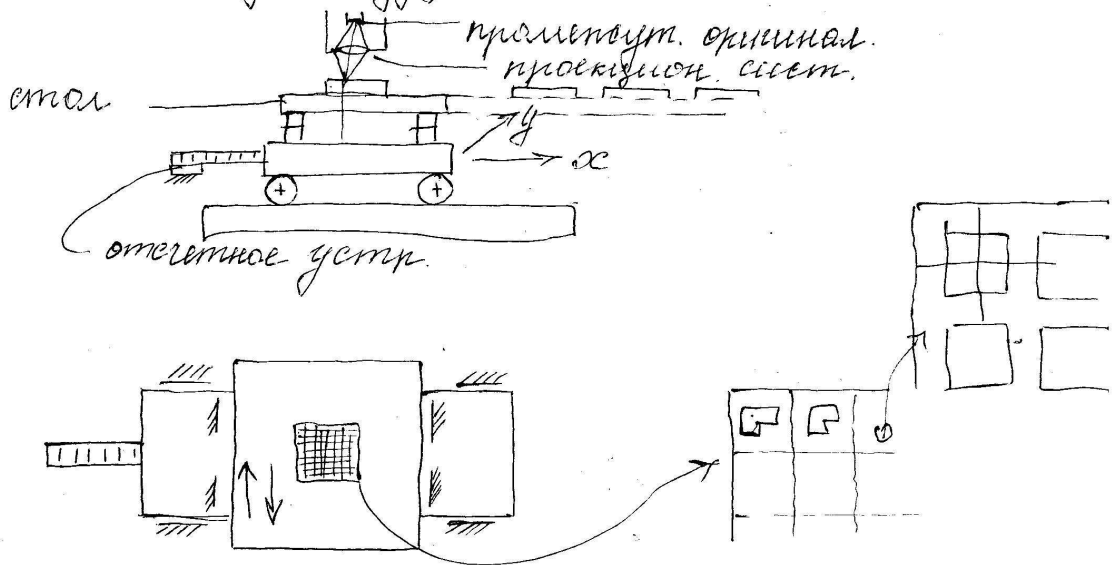
## Репродуктор

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





2х кардинал приципоти. в шибов. приводе <sup>стал</sup> и  
 несколькими до 12 проекцион. свет. На столе  
 можно напн. до 12 будучи. шаблонов.

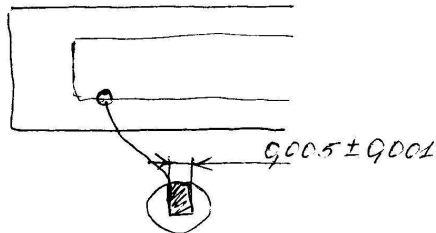
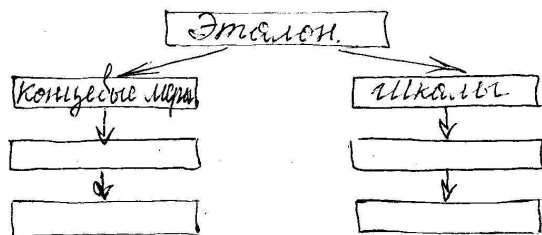


Точность измер. параметров.

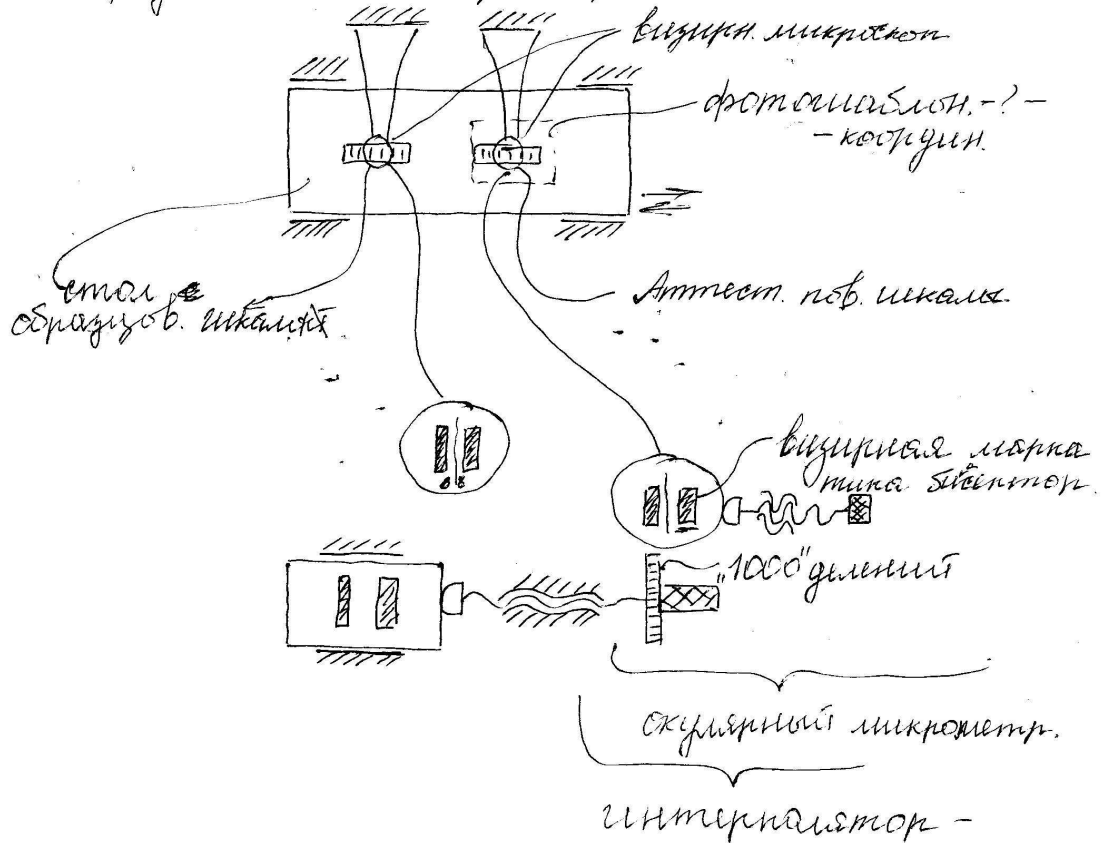
- А. Измерение по одной координ.
- Б. Измерен. в прямоугольн. сис. координ.

Измерен. по 1-й координ.

Поверочная схема



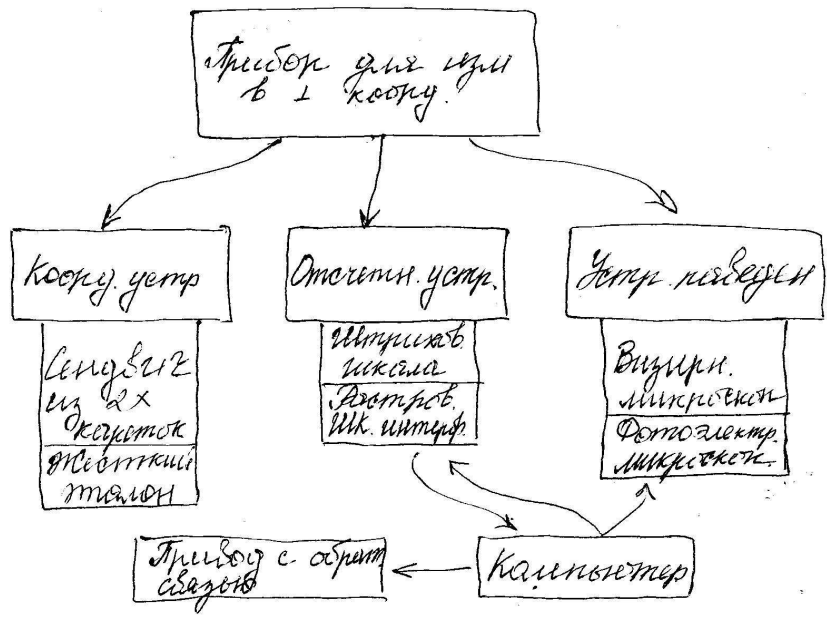
Технология: травление по восковому слою.  
 Травление в паре плавикового кислоты.  
 Передняя ед. длины от образц. шкалы руб. шкалой осуну  
 на продольном калибраторе.



длина раст. между штрихами на некот. кал-во  
 частей, чтобы отчит. делю м-ра т.к. ~~шкалы~~ шкалы  
 штрих (1 мм)

В. измер. в декартовой с-ме координат.

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



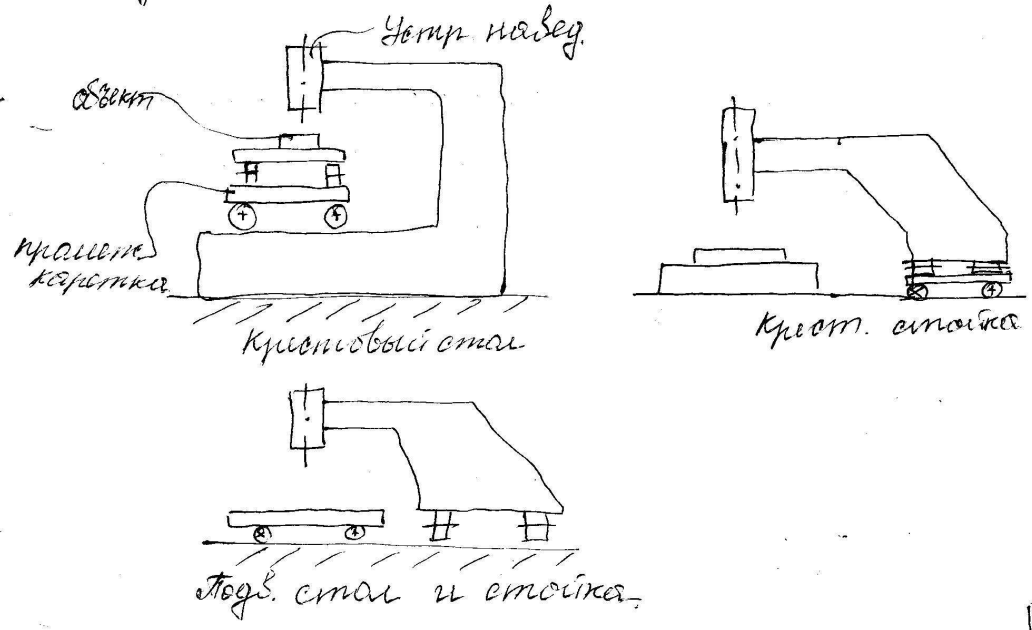
Координатное устройство

Различается вид: КЧ реализ. по схеме "сенсоры"

Крестов. стол

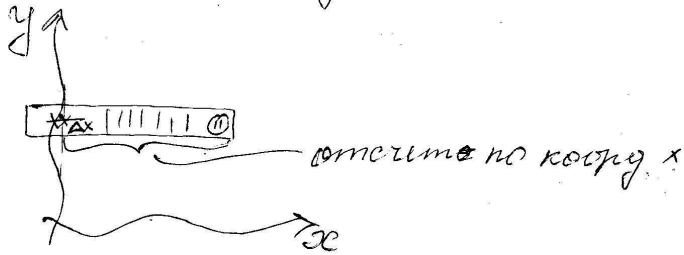
Крестовая стойка

с подвижн. столом и стойкой



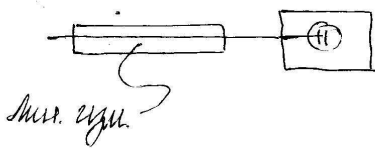
Результ. в коорд. изм. машин (КИМ)  
 Точность координ. устройств.  
 Координ. устр. вносят в резуль. изм. делат.

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

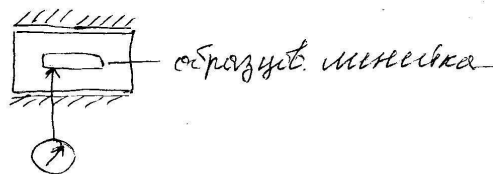


погрешн. форма и расн. оси у выдет полной выт. врез. при  
 по координате  $x$ , и наоборот.

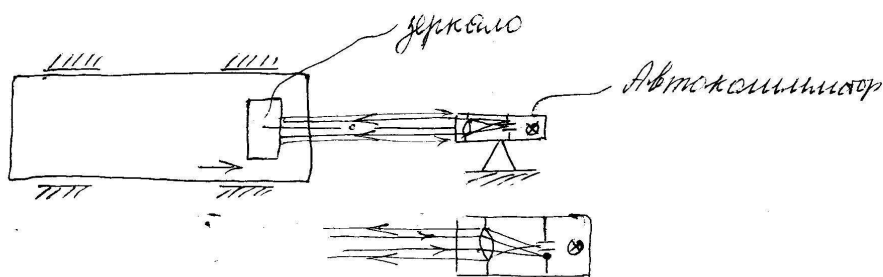
2) Погрешн. возник. из-за погрешн. поворота стола  
 при перем. его по направляющей → компараторная  
 погрешность. Важна компарат. погрешн. ступ.  
 степенно не своей. принцип Аббе - компарат.  
 принцип. « принцип перем. расположения "Ernst Abbe →  
 1890г - при высок. треб. точн. ... линия измер.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



Контроль перемещ. перпендику. стола.

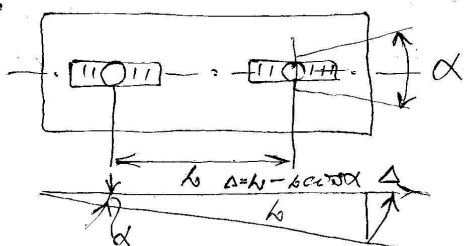


Контроль поворотности.

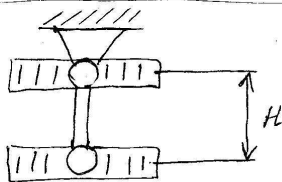


Расчетное выражение

I.

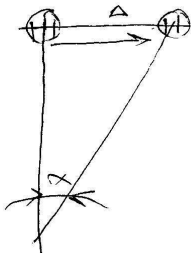


Принцип Аббе в.м.



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

II.



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

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

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

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

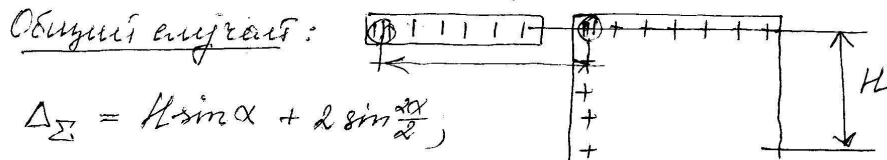
При соблюд. принципа полей в.м. погреш. измер. малая даже при знатит. углах поворота  $10'' \rightarrow 5 \text{ мкм/м}$

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

$\Delta = 5 \text{ мкм}$

10'' - охранный угол

5'' - техн. пред.

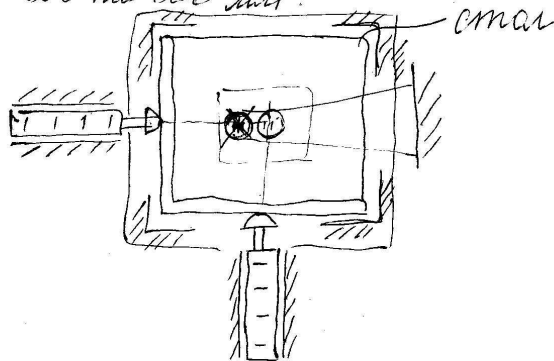


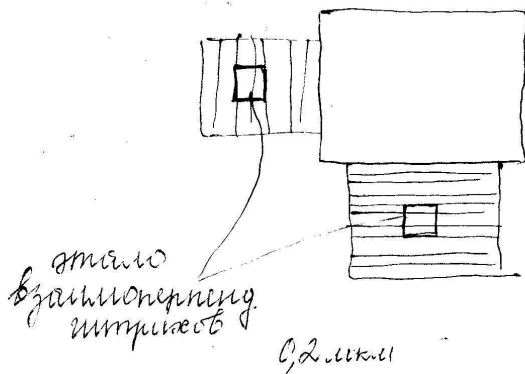
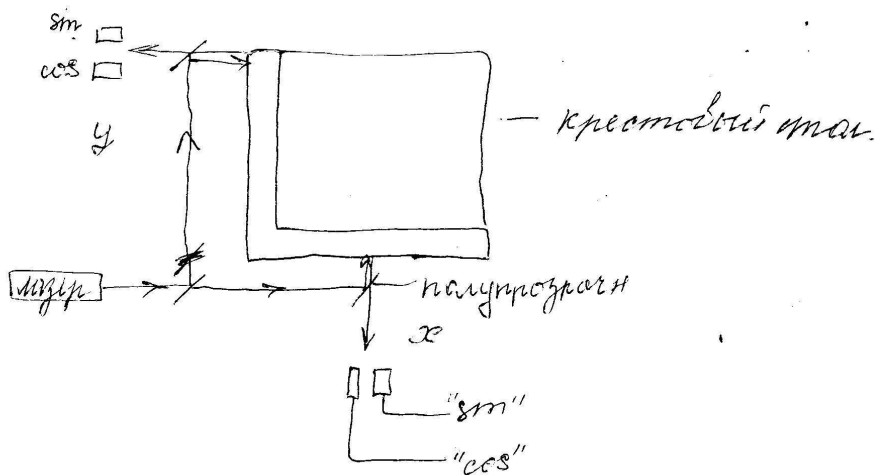
Калитрат погр. при измер. труп. калитровке не может быть учт. ни какими констр. методами, т.к. при труп. калитровке линии измер. зазуб. видны учт. погр. откоса линии измерения. ~~Для~~

Координ. учт. в тесной  
эталонной коорд. оси

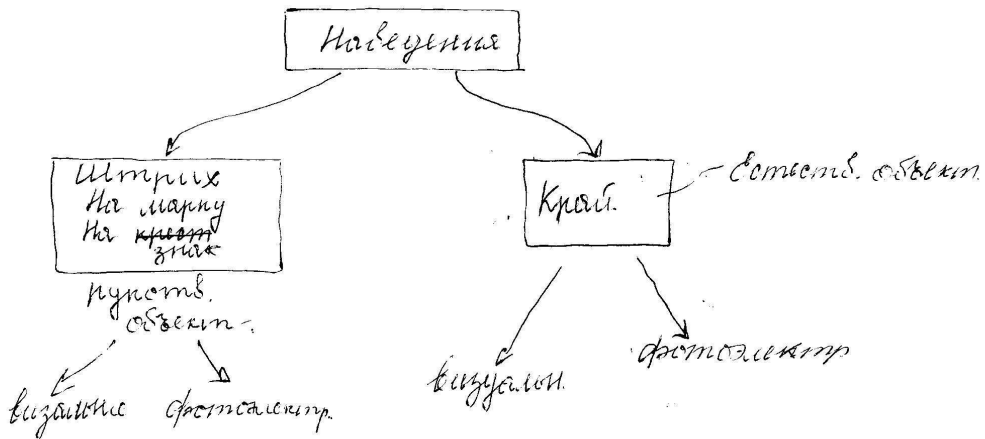
1932 К. Zeiß, Гена представил прибор под названием ... , в кот. был примен. новый принцип построения коорд. устройства Акоректор.

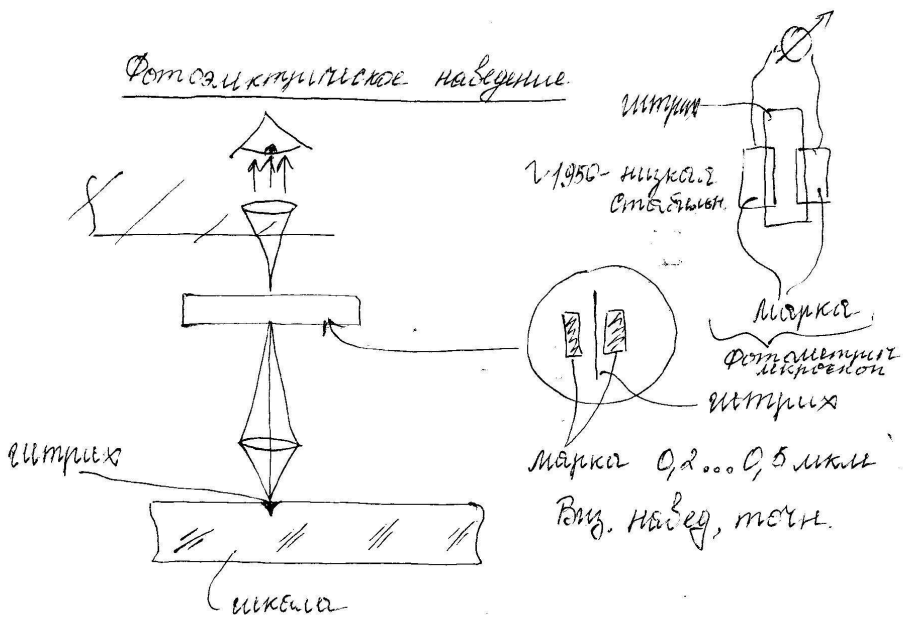
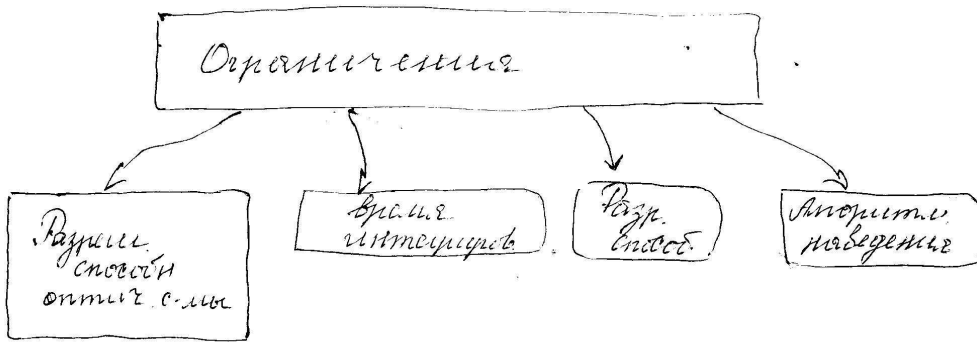
Прибор предн. для измер. коорд. звезд на астр. снимк. в поле 300 на 300 мм:



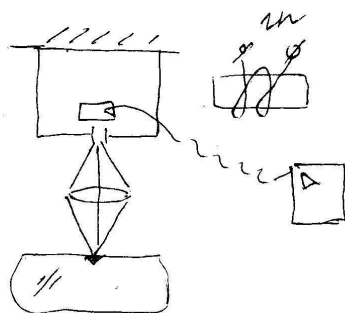


Сетростіагда наведеиия





Лазерное наведение с учетом кривизны 0,5...1 мкм

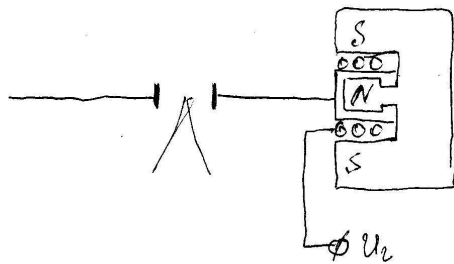
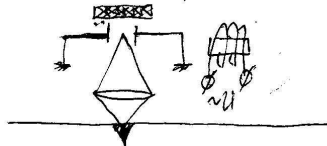
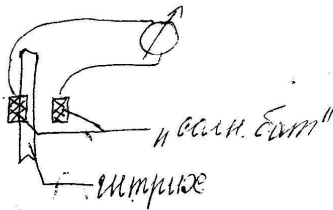
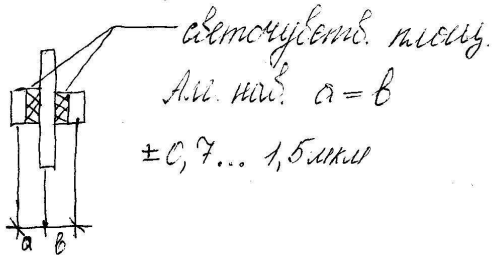
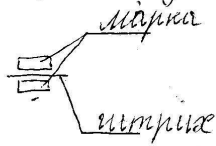


ФЭИ - фотоэлектр. микроконт.

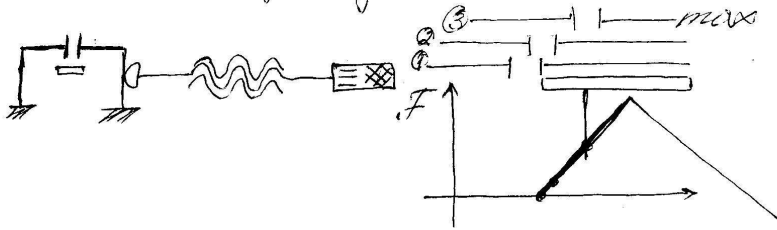


Фотомикрометр

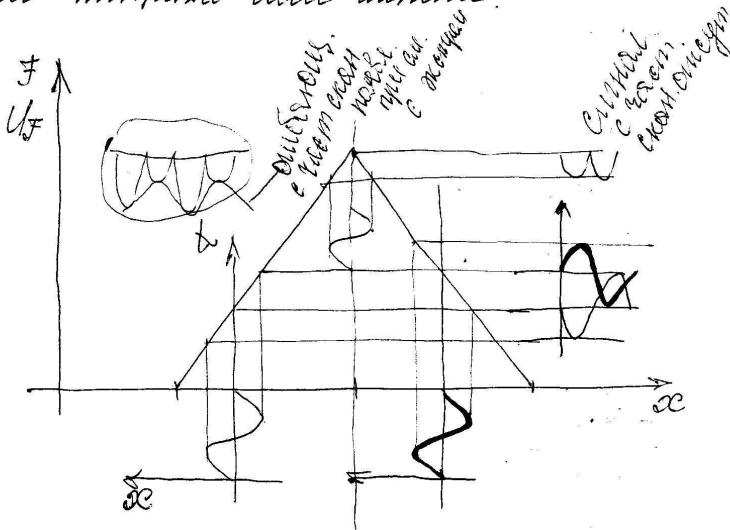
Функция преобраз. вращ. вил. преобр. от вращ.



Функция преобраз. состоит.  
 щель диафрагма - штифт

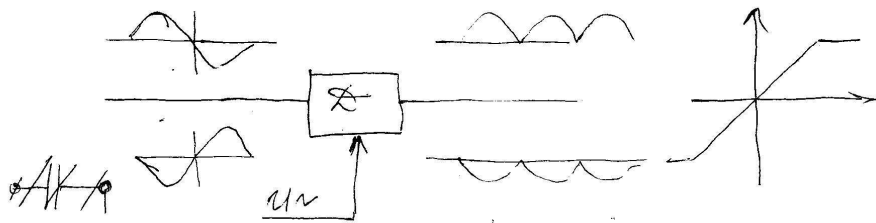


Для нахождения экстр. свет. хар. исп. сканир. -  
 здесь - калиб. двит. щели с оптимального порядка  
 ширины штифта или щели.

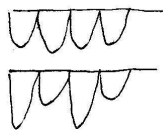


Тригг. навед. на экран. для отсут. в выход. сист.  
 вышит. свет с част. сканиров.

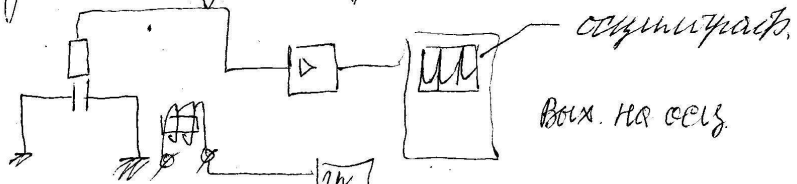
Для обраб. сист. исп. классич. схема "Разлучение. Векс" "  
 и др. модиф."



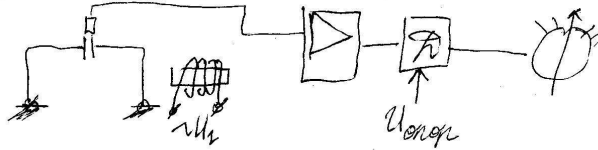
$\sim U$  - опорн. напряж. общ. с напр. жект.



Наведение на знак с углом оперетт

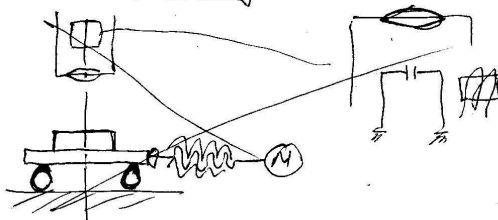


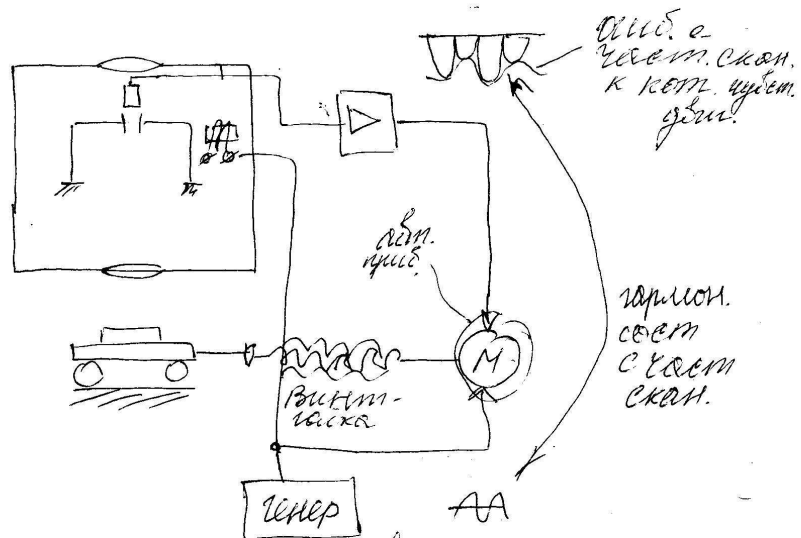
0,1% от ширины импульса.



$U_{оперетт}$  и  $U_{жект}$  - от одн. центра.  
Вых. на стрел. прибор.

Автомат. навед.





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

для перем. зоны свет. штриха с петиции.

± ширина штриха исп. программы устр. без ос.

В терм. ТАР (теор. адм. кел) достигнут. свет. с-ма

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

в завис. от качества прибора.

Наведение на край случ. отл. от наведен. на штрих  
т.к. опт. с-ма в сост. перед. сфер. спектр. проствр.  
част. осн. пример. фронт сигнала от штриха

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

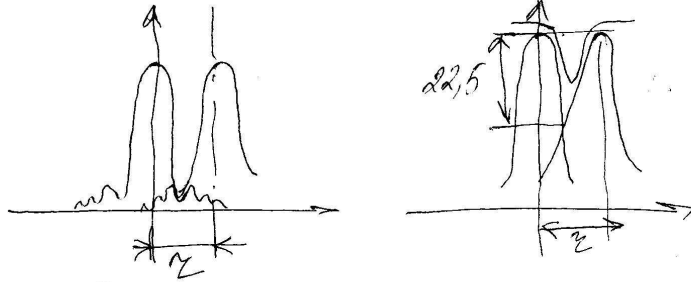
Велич. кот. зав. от формы погран. ~~края~~ кривой  
кот. в свою очередь зав. от степ. расфок. объекту.  
и навыков операт.

Разреш. способн. оптич. с-мы

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

в точк. марки исп. для наведен.

Разреш. способ - разн. между изобр. двумя точечн. источ.  
 еще разн. изобр.  
 точечн. источ. изобр. симмет. осев-ной в виде  
 "Кружная Фри"



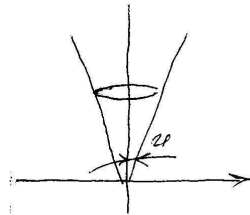
Примеры Ринг - разреш. способ. отп. с-мы разн.  
 разн. от предс. макс.  $\varphi$  + 10 мин в этом ауг.  
 изобр. где свет. поток изобр. изобр.

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

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

u - угол под кот. виден объект.

из предн. твояк.

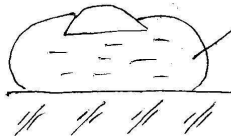


Разреш. способн.

Форма почвен. крив. нечет.  
 образ. с-му. с кривой отп.  
 разн. освещ. в кружке Фри  
 и с кривой разн. разреш.  
 способн.

A = 0,45		A = 15
λ = 0,5		λ = 0,2
φ = 0,1	φ = 0,28	φ = 0,07

теснота предн.



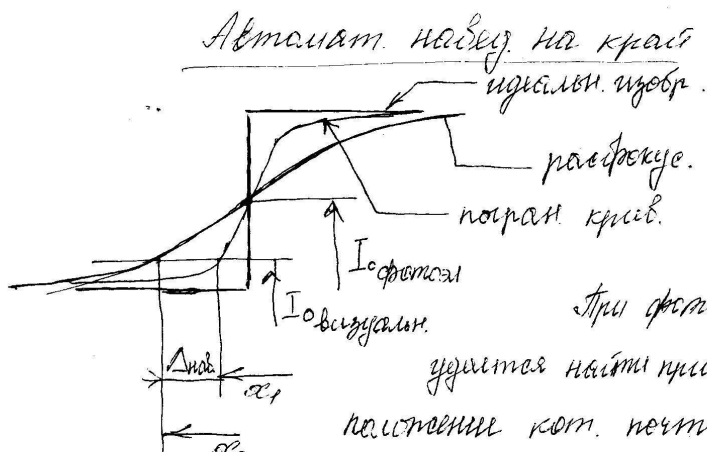
ширина предн.  
 с n → 1,5

Пути пов. точн:

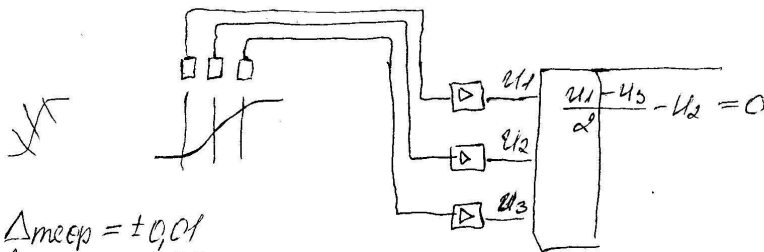
- 1) Увелич. длины волны  $\lambda$
- 2) Увелич. числа отверстий
- 3) Присоед. к др. типам микроскопам.

Ограничение:

- 1) При  $\lambda < 0,2 \mu\text{м}$  резко ухудш. обзор отчасти для микроскопн. объективов.
- 2) Главный угол. число для экстр. уменьш. глубины резкости.  $k = \frac{\lambda}{A^2}$   
 при  $\lambda = 0,3$  и  $A = 0,45$ ;  $k = \pm 3 \mu\text{м}$   
 пред. угол. без тинн. — треб. авт. фокусе.



При фотоселектр. навод. удается найти крив. нескот. точку положения кот. почти незав. от расфокус и уровня освещенности. Для того чтоб. опред. макс. и мин. свет. потоков и найти среднее между тинн.



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

## Преобраз. параметров

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

В основе растр. - растр. экранов, а интер. - интер. френелов. Мейкелсона. Образ. отстоит.

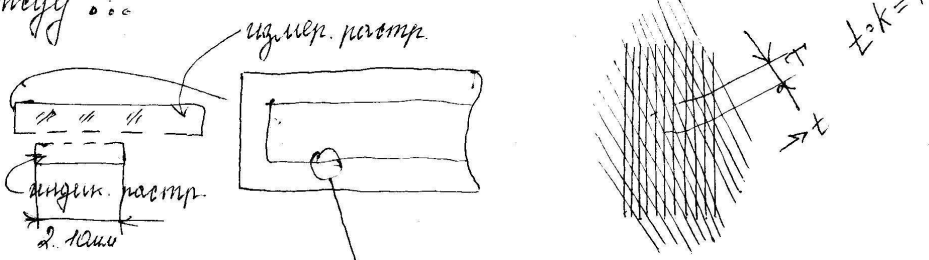
$$x = nT + \delta T$$

$n$  - число целых периодов  $\rightarrow$  сит (считыв.)

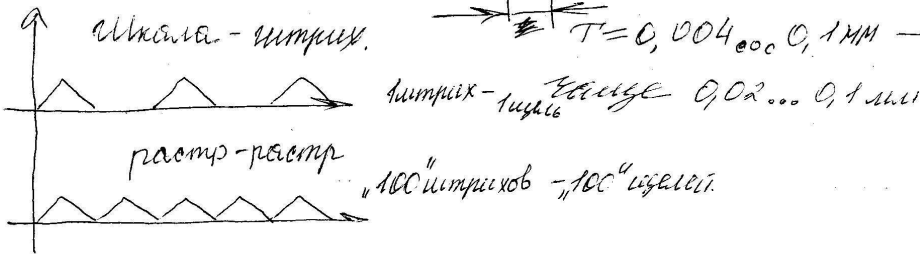
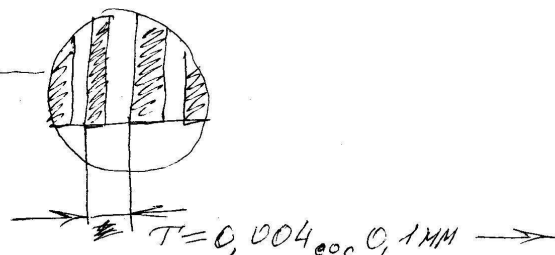
$\delta$  - доля периода  $\rightarrow$  интерполяция (определ. по числу в сит. отсчете)

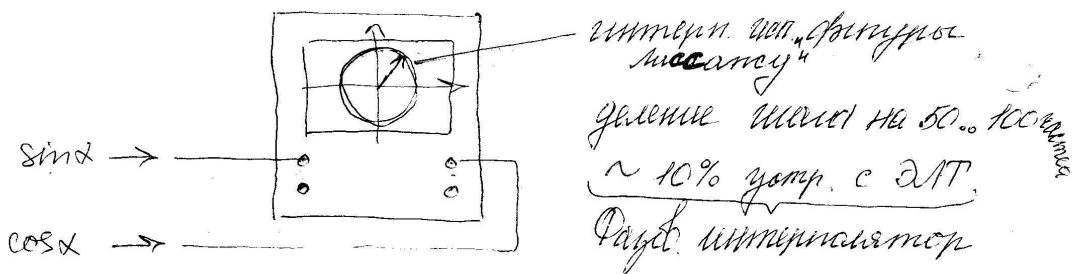
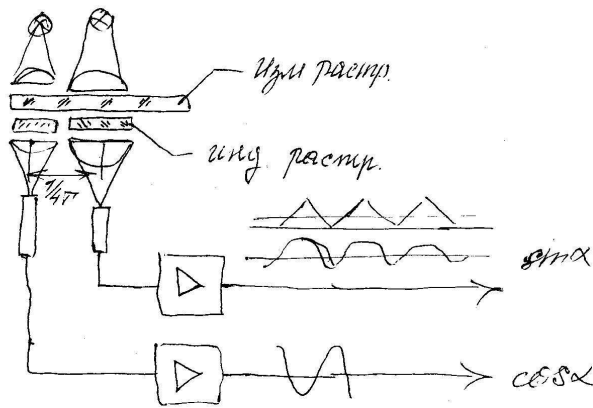
### Растров. преобраз. параметр.

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



Шаг растр. наклон. друг на друга образ. круговую картину.





\* Опран. при исп. фазов. интерферометров: \*  
 сигналы на выходе фотоприм. должны соед. только гармон.  
 т.е. быть чисто синус. И т.е. можно приближ. подобрать н. растр.  
 растрового #совр, освет. и затм. объек. света.

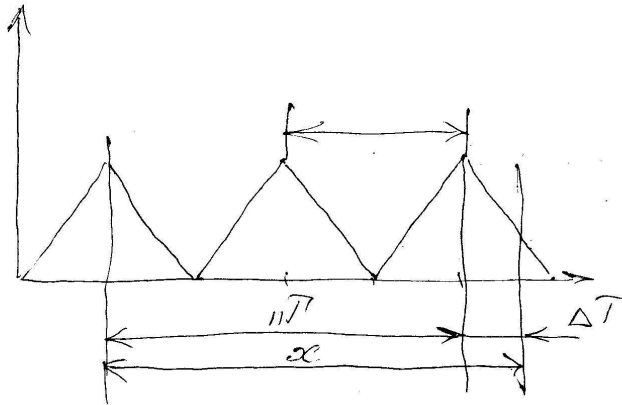
### Купил камень интерферометры

В купил камень интерфер. исп. применяет навед. как и  
 фотозн. микроскопе. для спущ. дальн. периода индус.  
 растр. амень. в пределах шала шкалы подавая  
 в кат. сканатора ток от точн. предыдущей ЧАТ  
 Длинн. ЧАТ 1000-2000 част.  
 шала. при растре с шала 0,1 мкм (10 нм) диаметра

0,1 мкм.  
 52

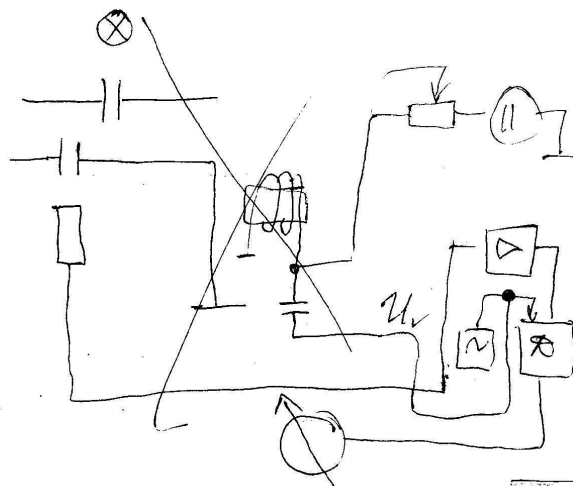
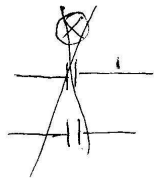


Стрел раз. переменн.



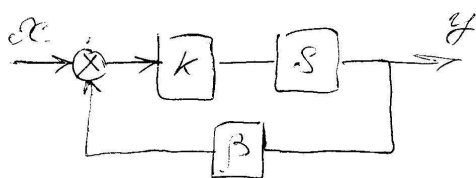
$x = nT + \Delta T$

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 дилеулятора. Угол затвора.  
 в счетчик будет показ. для доли периода, на кот.  
 пропорцио. к длине. перемены. Отсюда най. нужд. каленес.  
 системы.



Автоматическая сист. с. и. и.

Три шлаг. растрив

100 мкм дискр. 0,1 мкм;

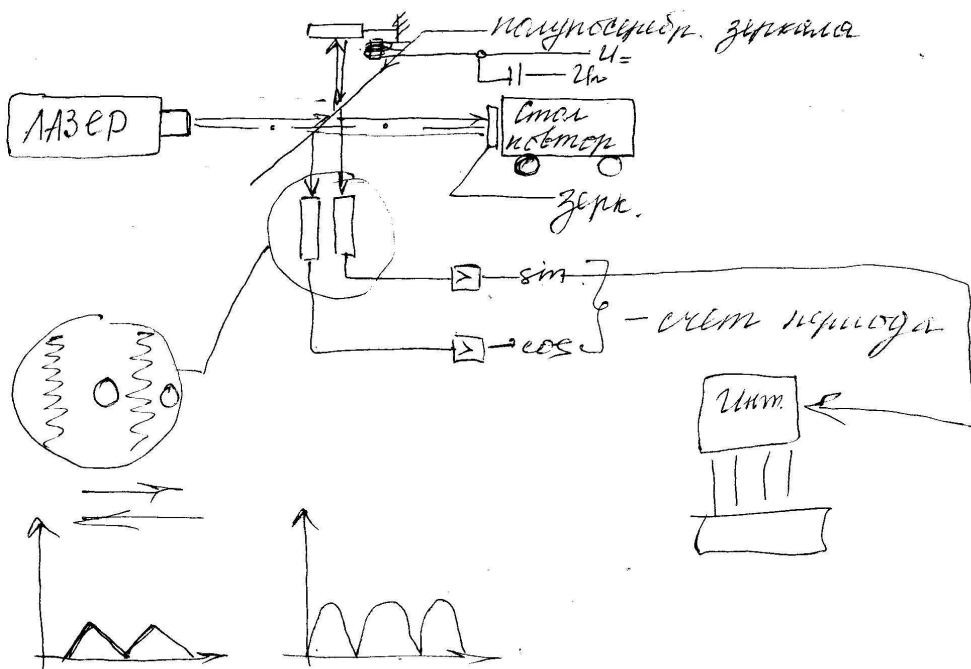
10 мкм дискр 0,01 мкм;

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.

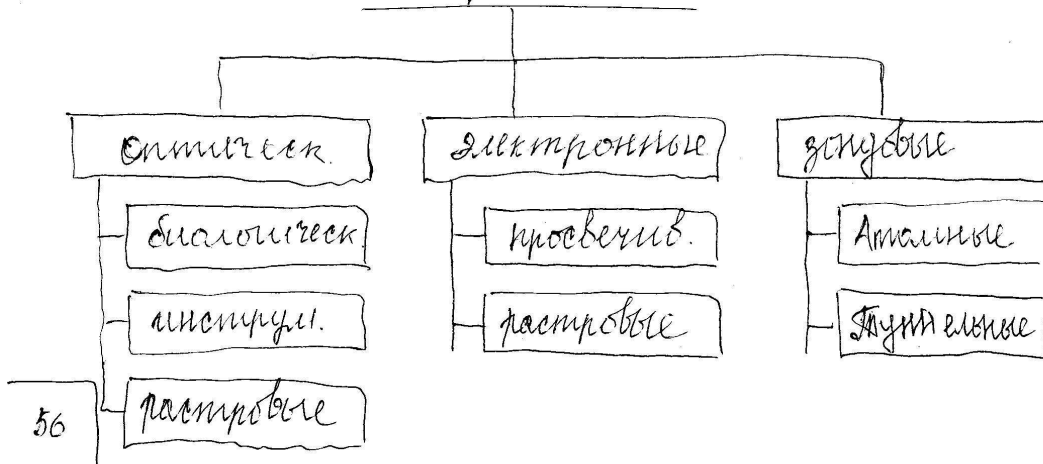
Шири 1 мкм  $\rightarrow$  дискр. 0,001 нм  $\approx$  1 нм;  
 (реально 0,01 нм... 0,05 мкм)

Визуализация топологии

Лекция №12

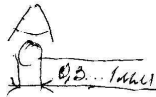
22.11.2007

Микроскопы

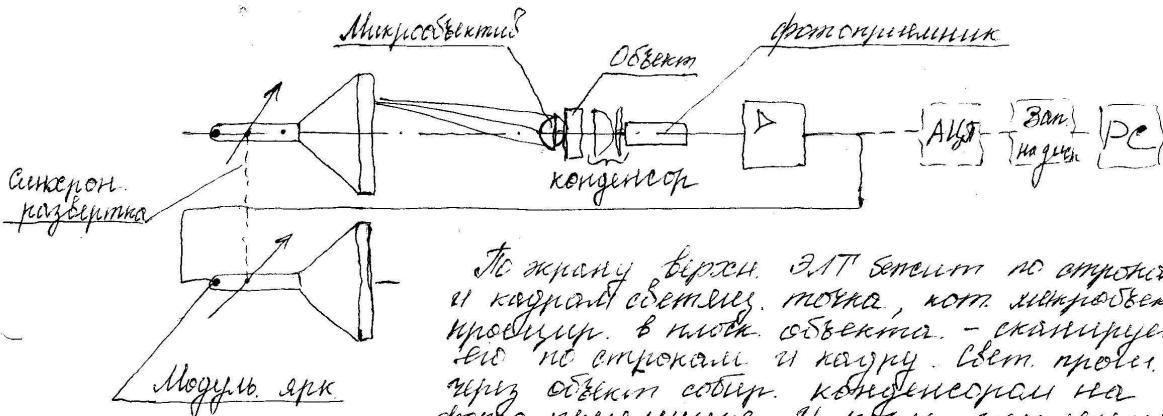


Раст

# Раструбные микроскопы



$$f_2 \text{ мм}; T \cdot \frac{250}{f} = 250 \text{ мм}$$



По экрану экрана ЭЛТ светит по отверстиям и краям светящей точки, как микрообъект проецир. в точку объекта - сканирует его по строкам и кадру. Свет проби. через объект собир. конденсором на фронт. линз. и далее увеличен. луч. сигнал подается на модуль ярк. 2й тандемной трубки. В результате экран светящей точки безрез по экрану 2й трубки или анкерно с изм. проекции объекта. В качестве обзор. или спец. объектив. предлагаю раб. в УР выбор. обзор. на тран. сигнал удобн. для обзор.

## Лазерн. вариант. Траб. микроскопа.

Недост. Траб. трубки - экран жмет. нолья луч. дост. ярк. Свет точки с обратн. сигнал. изм.

1985 год фирма выпустила на рынок м/а илт. изм. - Билуб. точки был илт. лазер.

Характер: Разреш. способ: 0,3 мкм. Фиксация тран. ± 0,08 Б. Точн. 8,000 ×  $\frac{1000 \text{ мкм}}{8 \text{ мкм}}$

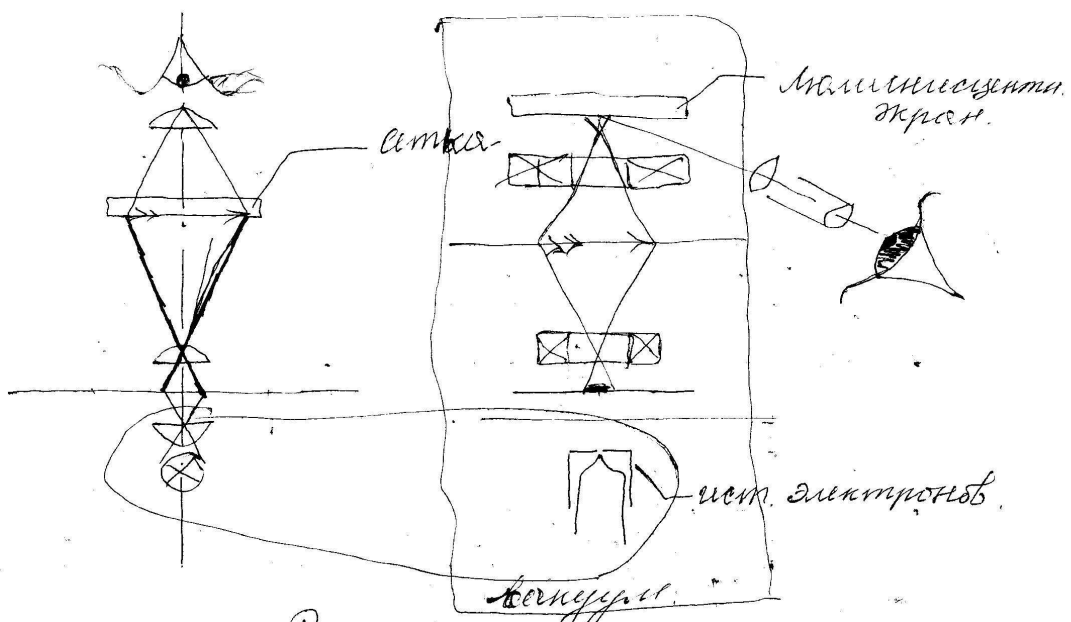
## Раструб. электр. микроскопа

траб. / растроб.

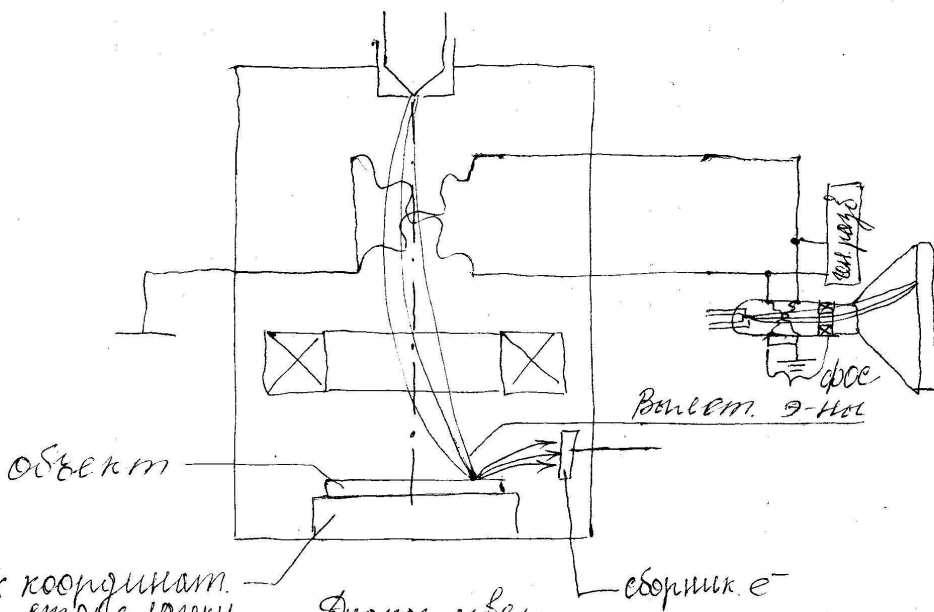
В основе электр. микроскопа лежит эффект.

1. трубка e- может быть откл.
  2. " " " " сфокусиру.
  3. e- взаимод. с объектом. Возник. сигнал сущ. различ. свойств. объекта и может быть. его с точки зрен. свет. крист. структ. для фокус. e- исп. e- электрон. лампы. это либо катодика с током, либо e- лм. электродов - свет. электроман. и электростат.
- привед. e- микр. представ. объект нем. аналог. оптик.

52



Расширенный электр. м/п



2x координат.  
ст. с лазерн.  
преобраз. парам.

Анализ удел:  
300x... 3000x  
Фан. зона 30x30 мм  
Раб. поле 30x30 мм.

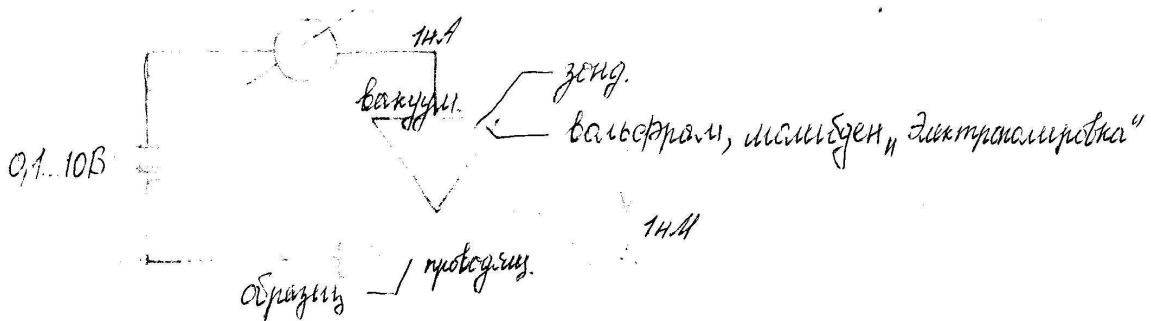
Прим.: шим. координат., несоб. крист. решетки, шим. свет.,  
гран. p-n переход, электр. еб-ва шоб.

Зондовые микроскопы

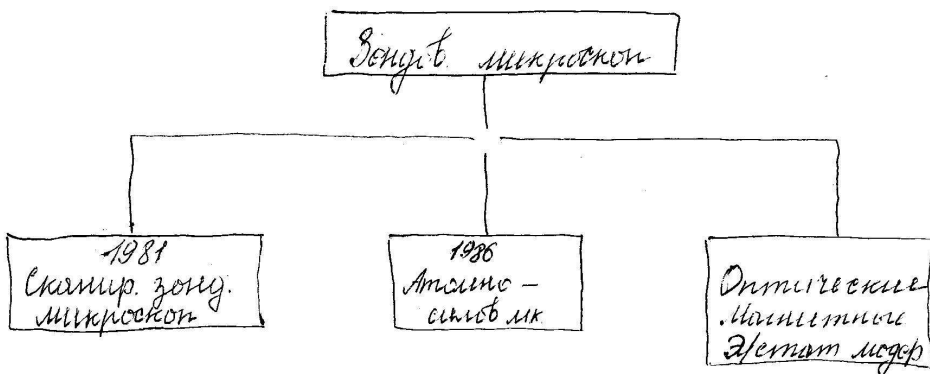
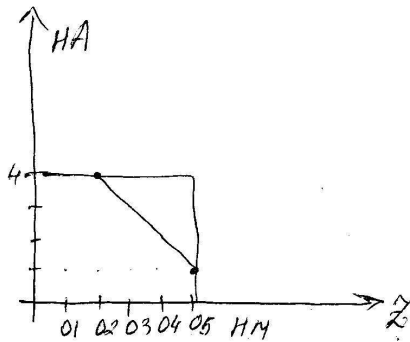
Размеры и допуски  
(прим. ст 19952)

Разм. амм.	130	100 (АСС5-6.5)	70	} Диаметр элект. м-ны зондовые микроск. (вкл. зонд. СЗМ)
Допуск	±13	±10	±7	
Серии. ст.и.	1,3	1,0	0,7	
	2004	2007	2010	

Сканирование зондовых микроскопов.



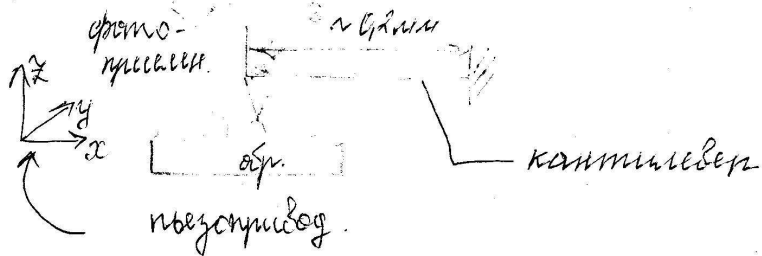
Для послед. обр. служит зонд - микроскопа с радиусе закруг ~ 1нм, зондировать по коорд. x и y и z пьезоэлектр. приводом в рабочем поле 4 на 4 мкм (x и y - строки и кадры) постав. умень. раст. Э можно обходить при увелич. того раст. Э 1нм в электр. цепи возн. ток величины порядка 1нА. вытиски этого тока заделяют или растит и излуч. 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 вращении образцы и зонды, который закреплены на упругом подвесе - консольно. балке.







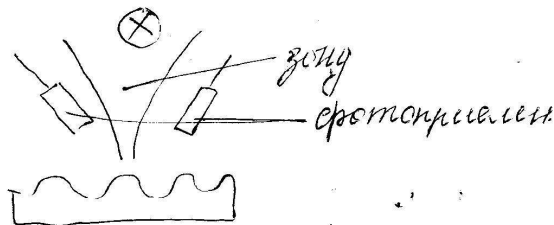
### Индентография.

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 джентильный ступит. из атомов обр. активной и пассивн. э-ты м/к с разн. проводимостей. напрядн.  $\lambda$  нанометров (20 Å) на основе нанотехн. решит. ступит. в тисн. земли на 3 передка привос. соф. цуцетв.

### Ближесканирование

сканир. оптич. микровк.

Чел. оптич. вакуум. Оптич. вакуумо нарев и выт. до толщины 10. лоты налур. зону сканов и исп. как свет. мурч.



Разреш: 0,05 мкм  
Сптр. разл. 0,5 мкм  
Разреш. способн. поперечн. 15 нм.

### Минимоскопический микроскоп

Для десятикратной четкости к малым вышам. зону напр. тесно сферическими тиской.

Электр. стат. елем. м/к

62

Минимоскопический микроскоп. и зонды при малом напр. тесно работ. между обр. и зондами ступит. напр. э-ты м/к.

Международн. эталон не разработ.

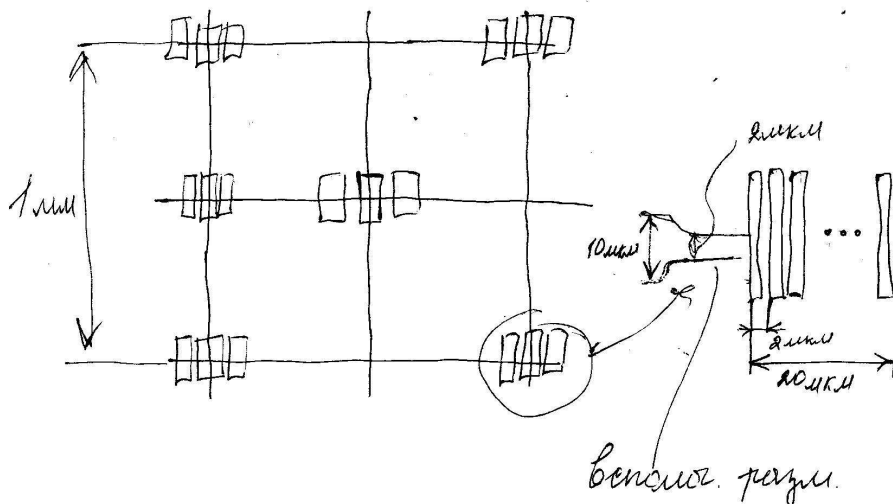
Образцов мера - в микроном и нанометр. диапазон. должна быть единой РЭМ (растр. электр. микроскоп.) и АСМ (Атом-сил. микр.) в области растр. микроскоп.

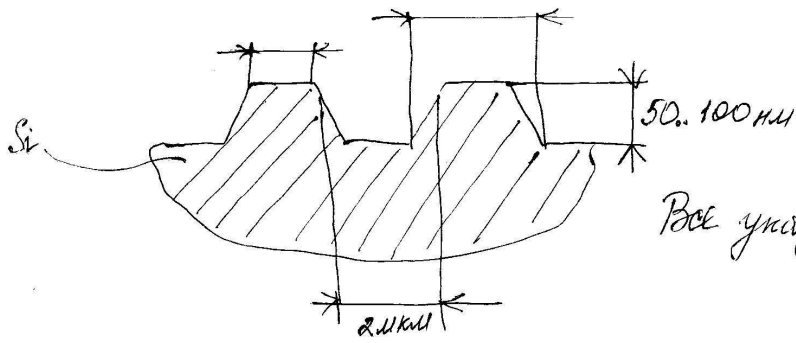
меры существ. давно:

1) Точн. недост.

2) Назв. для АСМ.

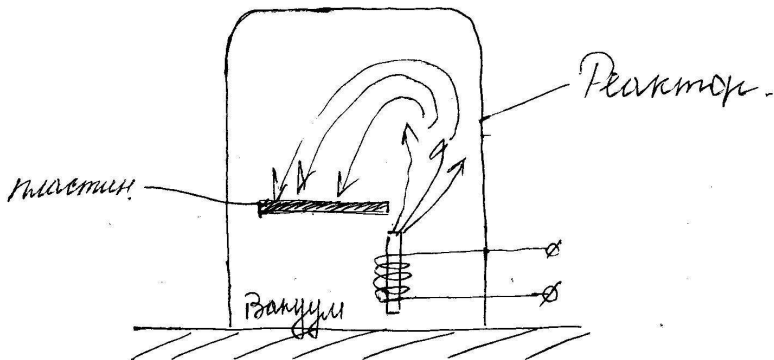
На площади  $1 \times 1$  мм по углам квадрата и в центре расположено 5 модулей каждой из кот свет из ЗОЕ идут штрихов. каждая чуж. штрихов свет. из 11 канавок протр. на поверх. края канавок пласт. с толщ. 2 мкм. Профиль канавок - трапециев. глубина 50...100 нм. Образцовая мера изготавливается на растр. электр. микроскоп. СКО кот.  $\approx 1$  нм; Погреш. аттест. 1,5-4 нм. Для аттест. ип. методы интерферометрии.



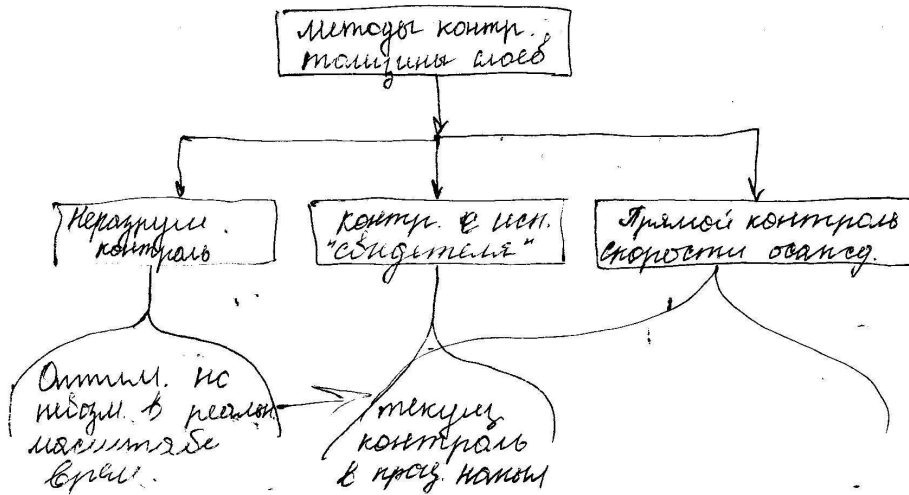


Все указ разн. 2.5 мкм

Контроль толщины слоев.



Тепловое атом. накал. термич. испарен. в вакууме матер. будущей слоя с послед. конденсат. паров на поверхн. пластины.

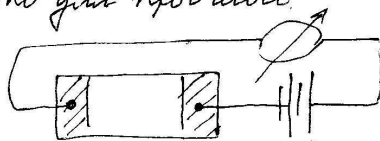


Резистивн. М.  
 Ёмкостной М.  
 микроволн.  
 оптич.

Резистивный метод.

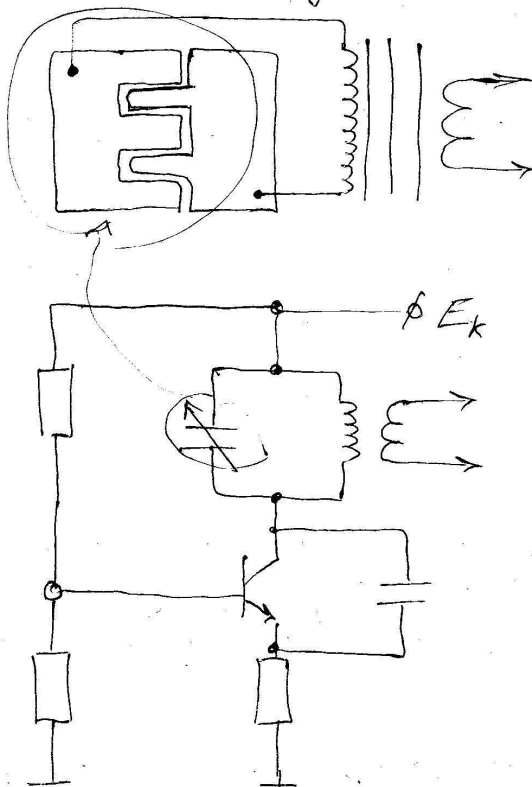
В реакт. ряду с пласт. уст. контрольн. пластины из диалект. → свидетель на края кот. напыл. проб. электрода. толщину напыл. для контр. по вал. внешнего сопрот.

Метод применим только для проволоч.



Ёмкостн. метод

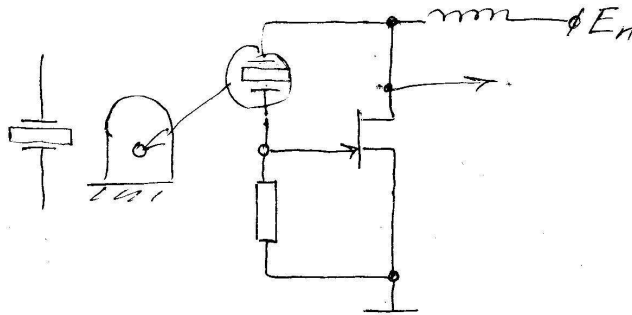
Для непров. слое в качестве свидетеля исп. пластину предств. собой конд. ёмкость кот. зависит от толщины напыл. непров. для контроль произв. по относ. велич. резонансной част. колеб. контура кот. является свидетелем.



## Микроузел

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

Кварц - крист. кварца панель методу для электропроводности и включ. в схему с обр. связью предст. аналог механ. устр. типа коллктонна.



Если на кварц. напильник слой то рез. част. будет иметь пропорцион. завис. выск.

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

разр. слое. -  $3 \div 5 \text{ нм}$

Толщина.  $2\%$ ; при необх. получ.  $1\%$  - термостабильн. кварц.

Наиболее развр. методу контроле слое

Оптический метод

Фотометр

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

Интерф.

При освещ. прозр. слое монохром. светом коэф. пропуск.

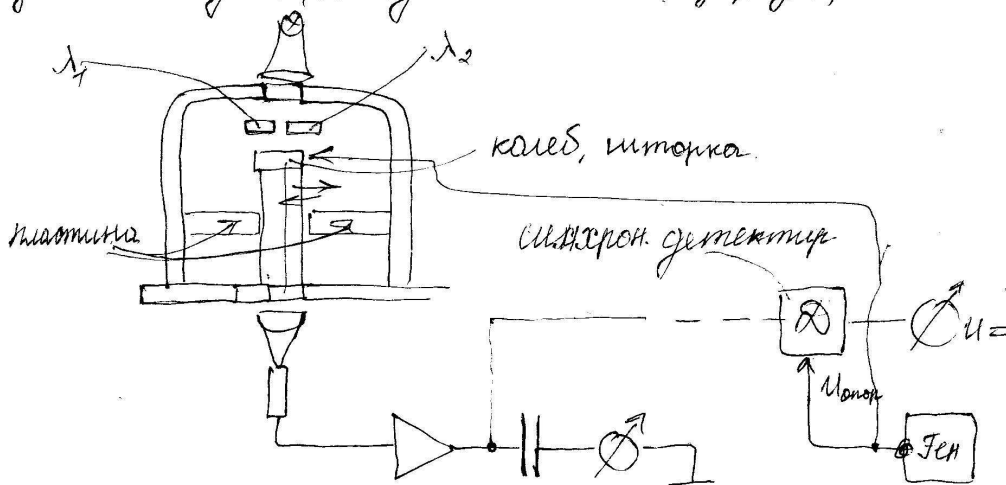
Обучающ. интерф. в пленке. В процессе напылен.

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

Для текущего контроля необходимо в процессе изготовления  
 зана в процессе пропуск самовизу или в качестве  
 контр.

Метод 2-х

Из белого света светофильтрами выдел. 2-волны.  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$   
 на кот. интенсивность прошедшего света при задан  
 толщине слоя один. (метод биен - интерференция)

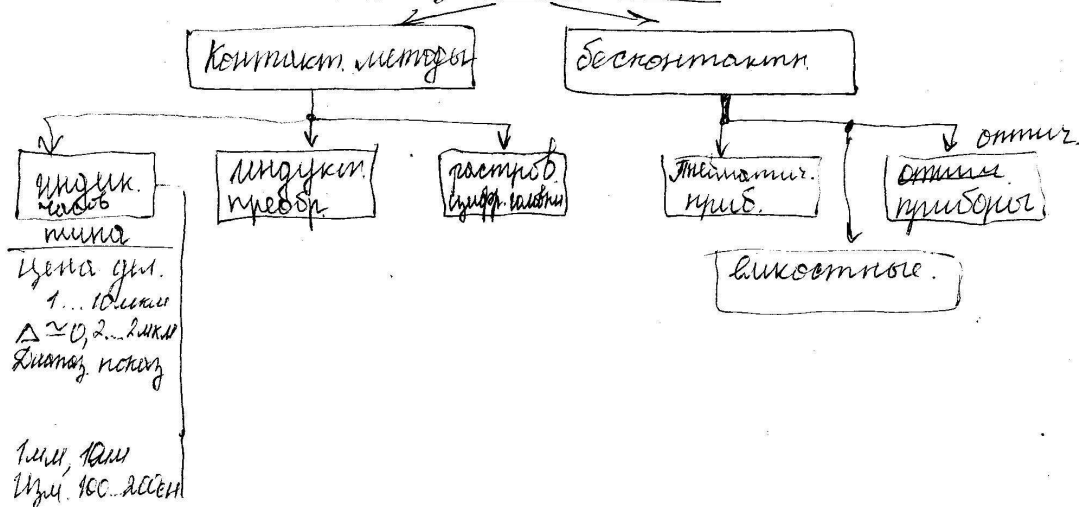


$f_{\lambda_1} = f_{\lambda_2}$  модуляции отсут.

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.

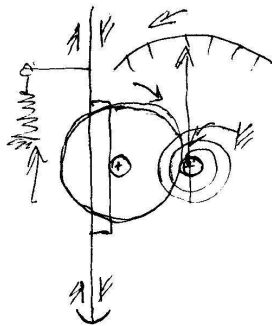
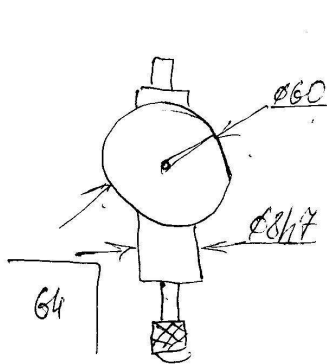
Истощ. конт. сн. в наст. время архивн. и свдент.

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

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

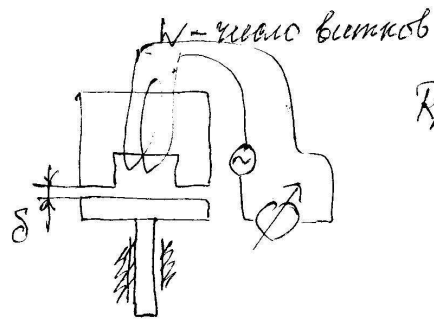
Костомонтаж: низкая стоим. (покупка и обслуж.)

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

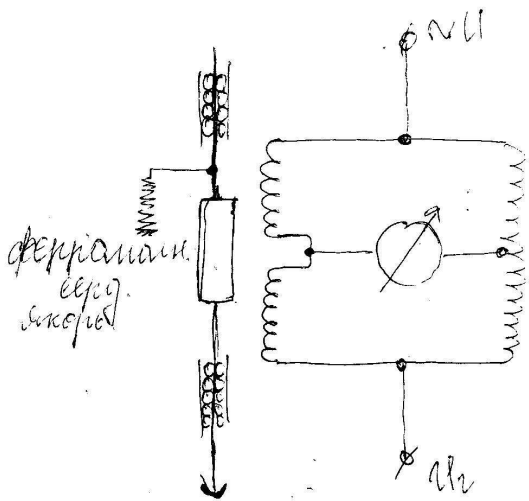


$$\begin{aligned} \text{ЦЗД} = 10 \text{ мм} &\equiv 10 \text{ оборот.} \\ \text{стрелки} &\equiv 10 \text{ мм} \\ \Delta &= \pm 2 \text{ мм.} \end{aligned}$$





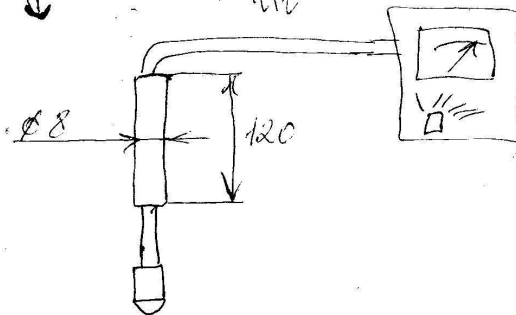
$$R_k = \frac{W^2}{R_0}$$



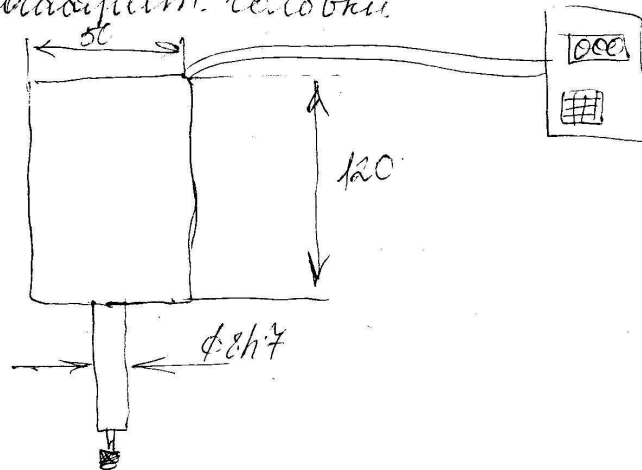
Изн. сила  $\geq 50 \text{ см}$ .

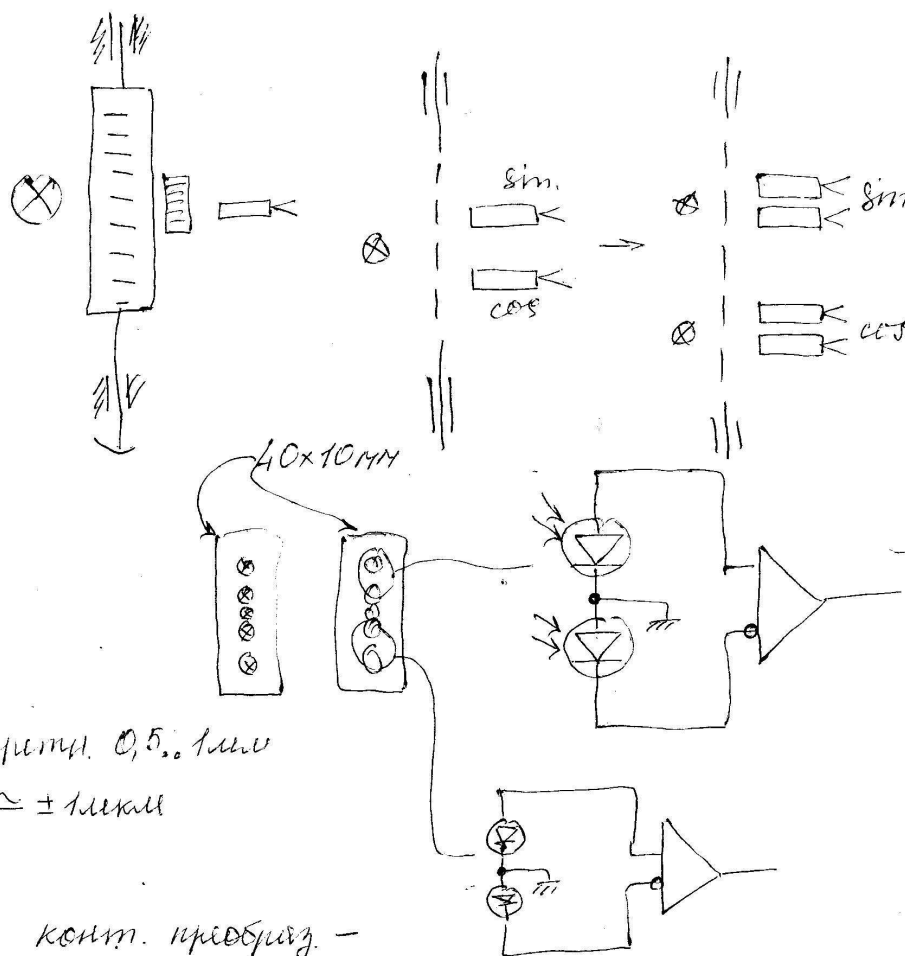
Квант. показ  
ср. мин. усадки  
состав  $\approx 1 \div 5\%$

Уг. дел. перекл. на 80 см



Расчет маломощной катушки





Диоды 0,5...1мм  
 $\Delta \approx \pm 1\text{мм}$

Перисел. 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 изм. предел. отст. примен.  
 для конкретн. издел. исп. термин. измеренн.  
 позиции

В сист. применособи. входит устр. закрет.

и базир. платинка исп. 2 варианта. Механич.

и клеммнич. (вакуум)

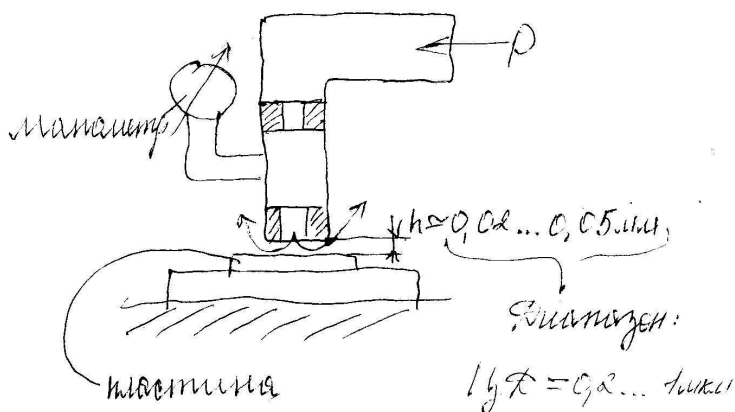
Бесконтактные методы.

Гидравлические средства измерения.

Статич. воздух  $\sim$  5 атм. пост. ион - есть трубка проб-  
на все машин. строят. произв. стат. воздух ион. в  
затемн. приспособл. в инвд. измер. устр. в направл.  
с осью воздуха ~~##~~

Гидр. средст. изм. наст. равн. электр.

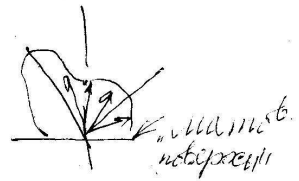
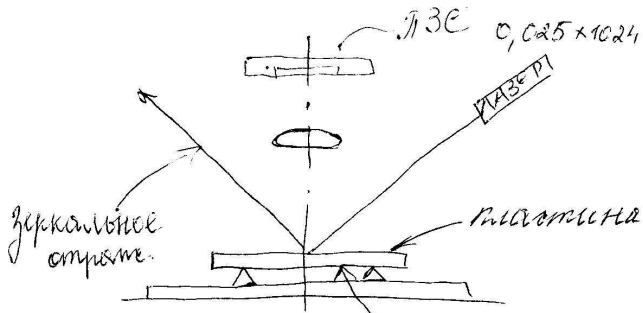
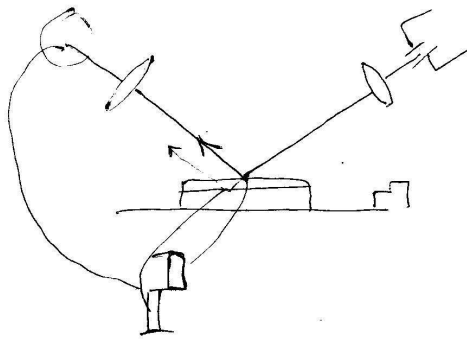
Принцип действия основ. на разн. дин. в жидк. среде  
от скоростей пост. и востек. воздуха.



Воздух. 5 атм. напн. ион. в миллиметр. и приб.  
отраженн. краем пробр. в канн. элемент влос.  
устр. для освещ. и стабилн. и поскр. устр. в вых.  
на стрелочн. приб. и электр. выходы выноб. сигнал  
при переходе через транзист.

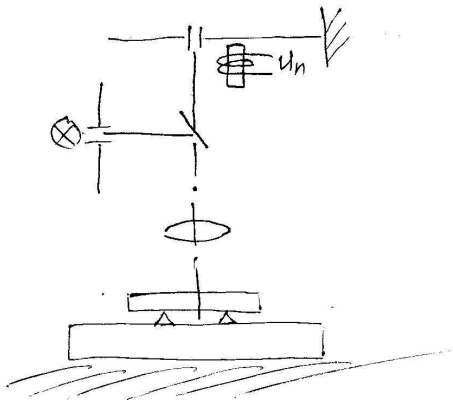
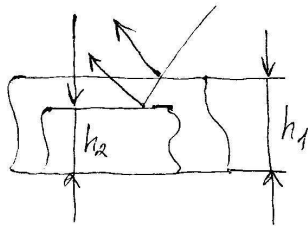
Оптич. средства изм.

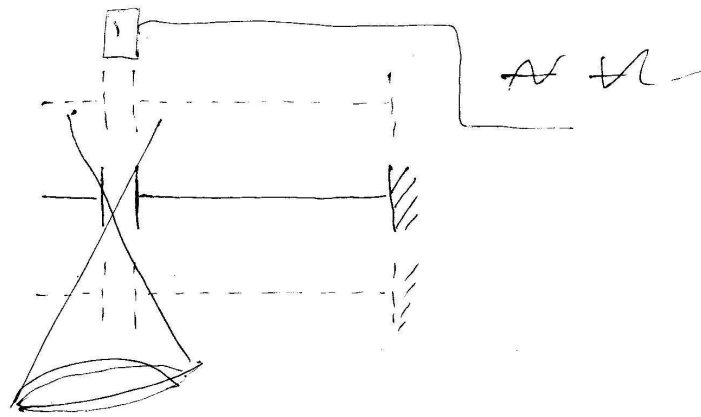
Ион. метод светового измерения.



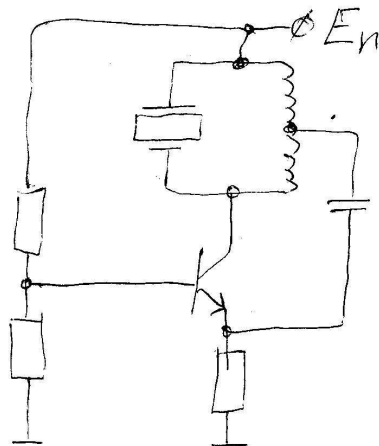
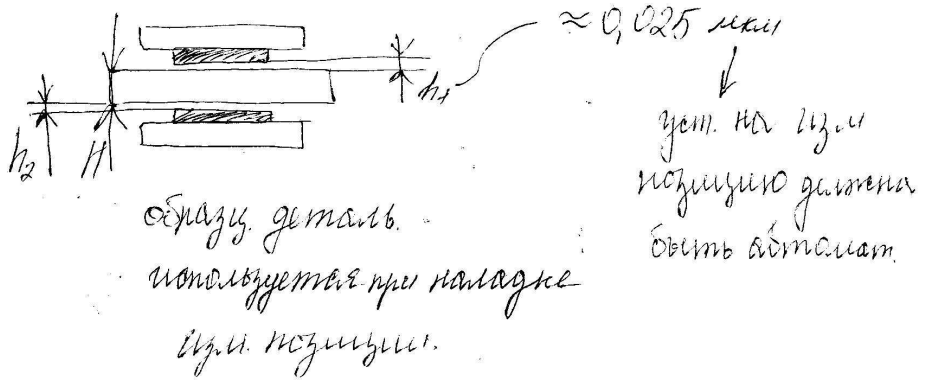
рабочая потеря  $R_2 0,025$

(высота микропроб.  $\leftarrow$  длины волны света)





Симметричные преобраз



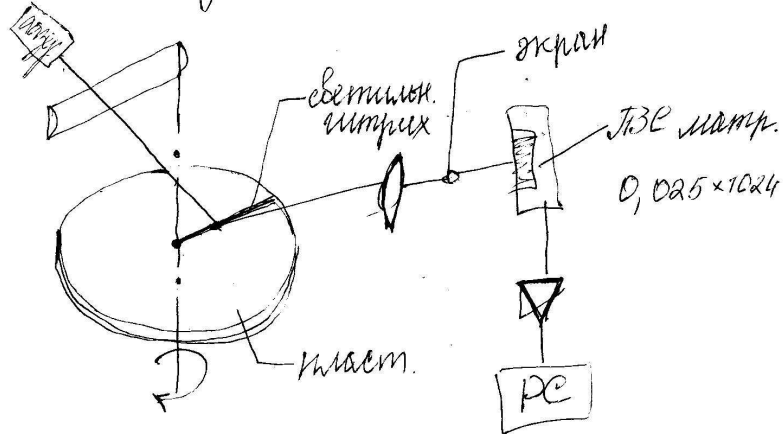
Сдвиг част. -  
 -функция  
 $B = (h_1 + h_2) - (h_1' + h_2')$   
 наладка ширины.

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 адг. контроля



На французской пласт. цилиндрич. линзой проецир. светл. штрих узкого, которого была бы безд. на ТВС матри. если бы экран не перекр. зрительн. отрат. лучи свет на ТВС матри. попад. только будучи рассеян. дифркт. на контр. пов. (как только в луче сам. света)

Димитриева

Контроль адгезии с толщиной 1000... 5...2 мкм  
проблем. если кон. излуч. с длин.  $\sim 0,5$  мкм

Эквив. прам. для измер.

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

Принцип дейст. осн. на изм. эллипсизма. параметр.  
 $\Delta$ ,  $\varphi$  кот. охаракт. свет. поляризу. излуч. при по ступен.

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

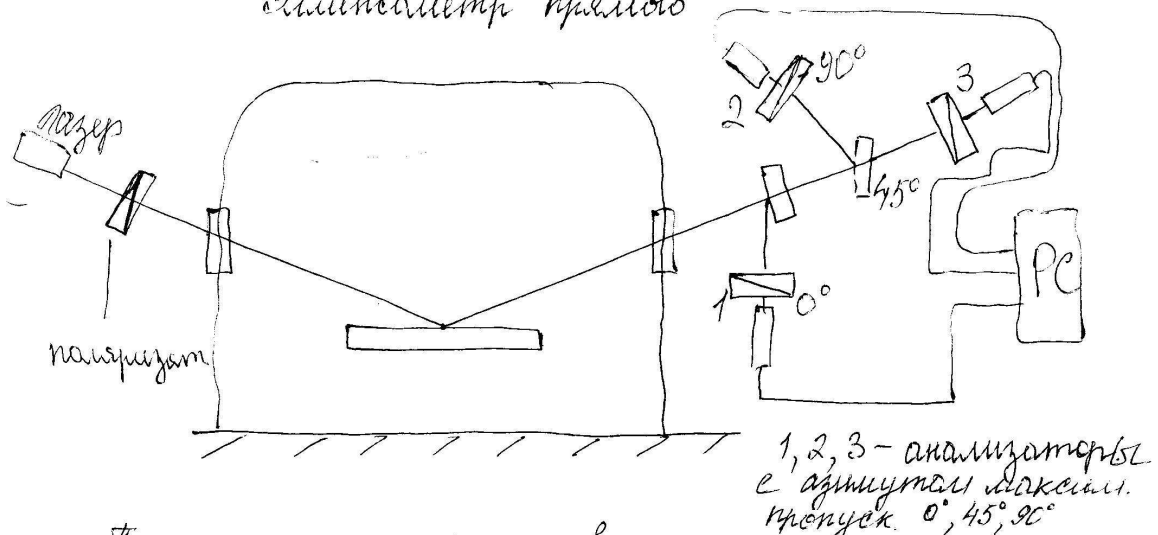
$$\varphi = (A_p - A_s) \text{ изменение амплит.}$$

электр. вектора. волны  
поляризу. света

P - I блок. поляризу.

S - II блок. поляризу.

### Эллипсоид прелом.



По трем значен. интенсив. протук. распав. свет.  
мощной вычислит. базой можно определить  
расчитат. параметры  $\Delta$  и  $\varphi$  по кот. решая обрат.  
задачу поляриметр. опред. 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