

Точность до долины ‰

~~Всп. прямоугольн. кремниз от Кварца:~~
 Станок кварц. заготовки $\phi 10$
 Станок кремн. заготовки $\phi 15..20$

Защит. поверхность - окисл кремниз (стекло). Получ. путем
 обдува горяч. воздухом.
 Травление плавиковой кислотой HF
 Сваруем ипольз. фоторезист. поверхн-ти.

Достоинство кремниз - монокристаллическ. Кварц -
 аморфн. материал. За счет этого травле-
 ние кремниз протеке в опред. направлении. Кварц.
 Травится во все напрал. одинаково.

Кварц:

Кремниз:

- малая теплопроводн.
- (одна из лучших
у диэлектриков)
- диэлектрик (не металл)
- (скапливает статич.
заряд)

- проводящий материал
- (для изоляции обеспечивается
окисление поверхн.)
- очень хорошо теплопроводит

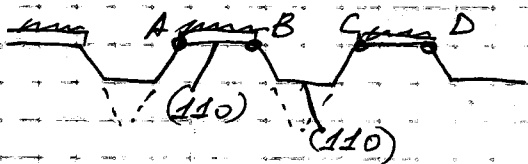
Бтек $8 \cdot 10^{-3} \frac{H}{cm^2}$	70	84
Твердг H/mm^2	8500	8200
$E, H/cm^2$	1,3..1,7	0,73
$\rho, \Omega/cm$	2,33	2,5
Темпер. $\frac{Вт}{cm^2}$	1,57	0,14
Коэф. тем. расш. $10^{-6}/K$	3,2	0,55

Реально перемычки не ломаются.
 Реальный коэф. концентрации $K \approx 200$.

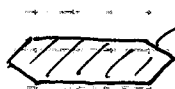


Как только приклад-ся сила, то начинается деформация и позволяет радиус скругления.

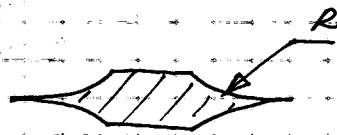
Поперечн. сечение:



Точки A, B, C, D траверсы безупр.

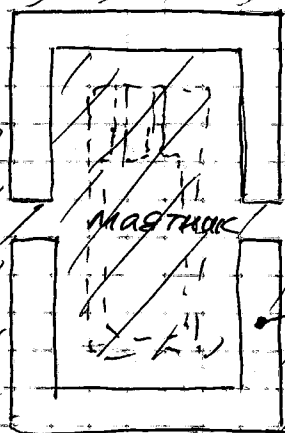


реально получается



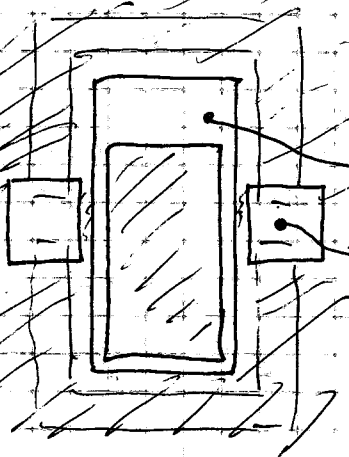
Поэтому нашли выход, показ. на рис. 4б.

2



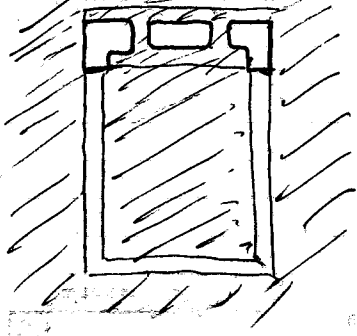
Этот шатлон ил-ся после операции полного окисления. Слой ок-я, окр-е мастика, должны подграбидоваться на глубину $\frac{h}{2} + 2 \text{ мм}$.

3



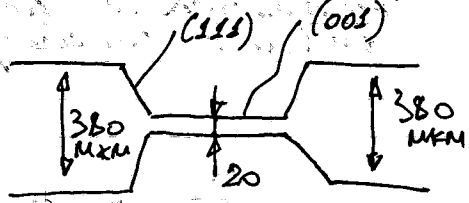
Траверсы до появления сквозного отверстия в разделительной канавке.
 мембрана $h + 4 \text{ мм}$.
 Далее дограбидоваться до толщины h .
 Утолщаются до толщины h .

Далее происходит тонкое окисление шаблона. И производится эпоксирование шаблона с перемычками №4 на мембрану:

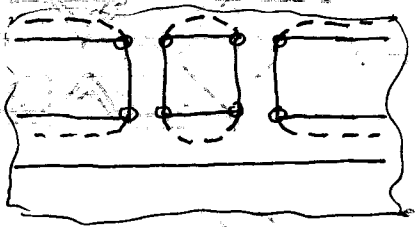


Трабуется наждазь.

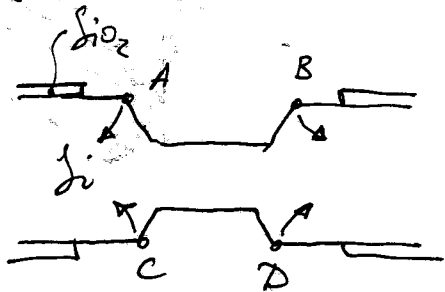
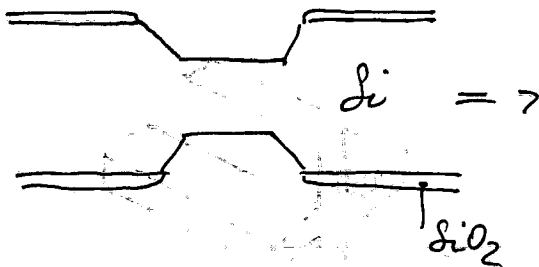
При таком методе углы перемычек имеют большие неприятности с углом перемычек - концентратор напряжений в углах.



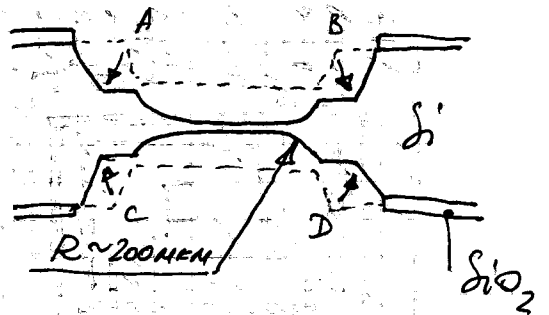
Кэф. кону. напряж. в углах ~ 200 .

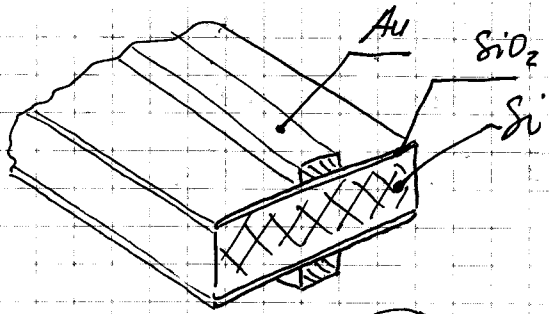


Борьба с первой проблемой:

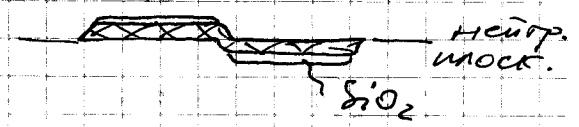
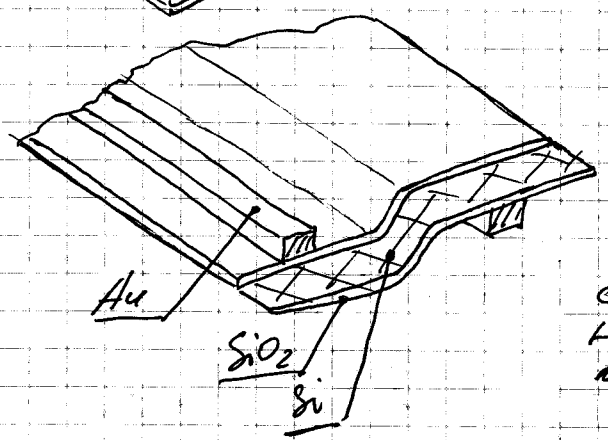


||
v

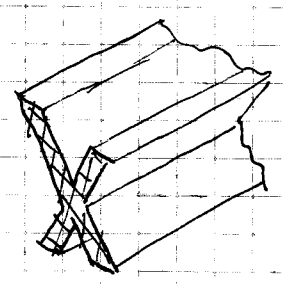
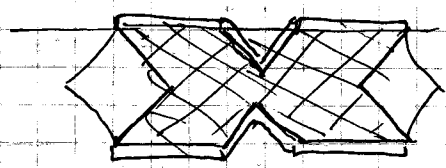
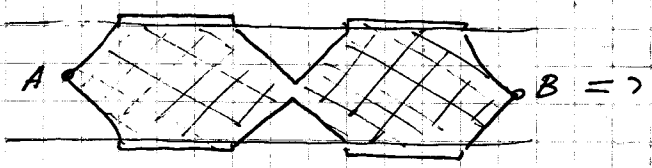




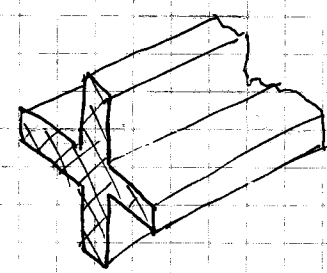
При изгибе
получается
мгерезия.



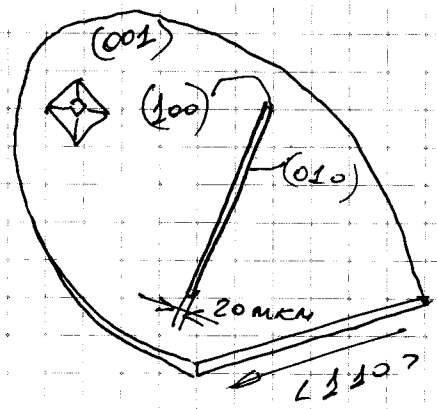
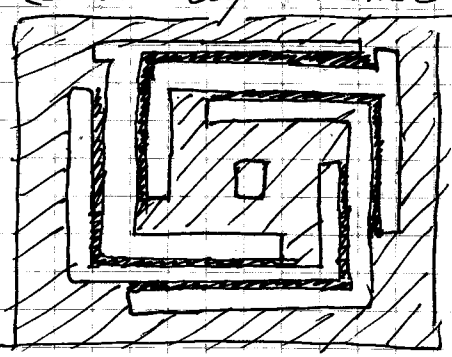
В этом
случае изгибные
напряжения не настолько
вливают на мгерезию.

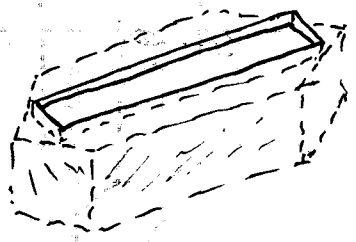
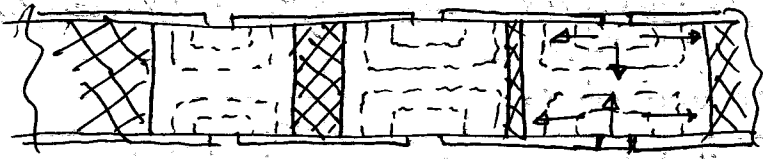


Хорошо работает
на кручение и изг.

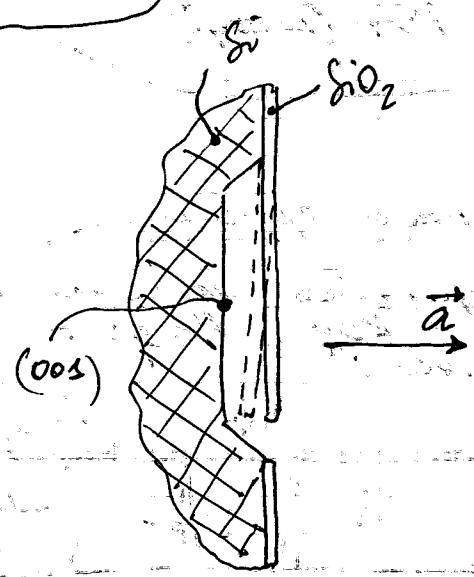
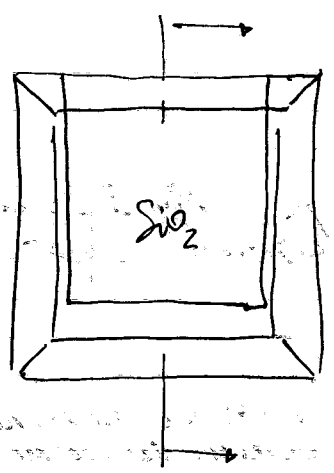
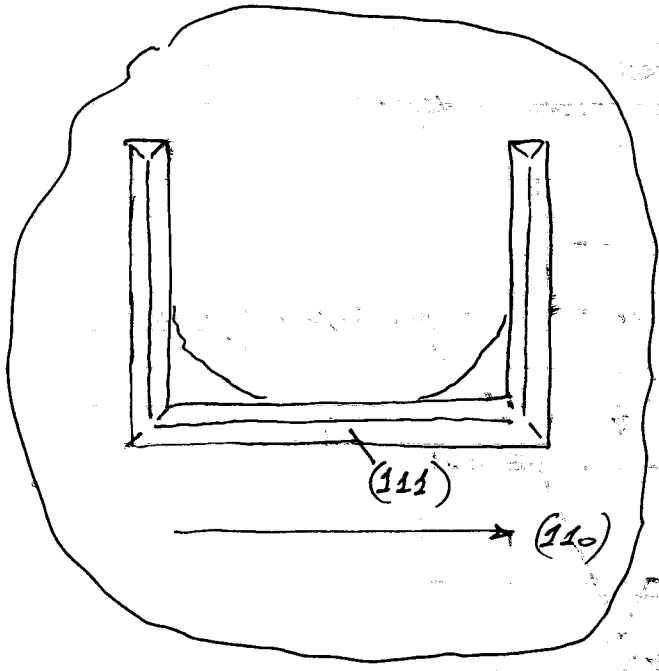


Для шассонов R-R типа.





Твердотельные приборы

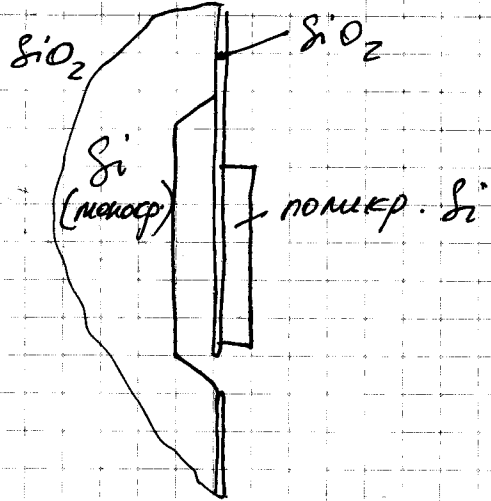
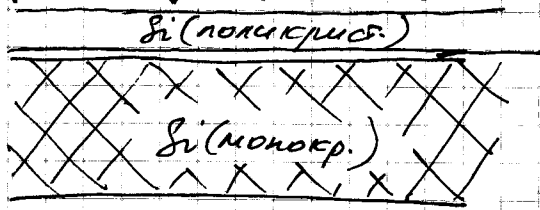


Методы выращивания кремния:

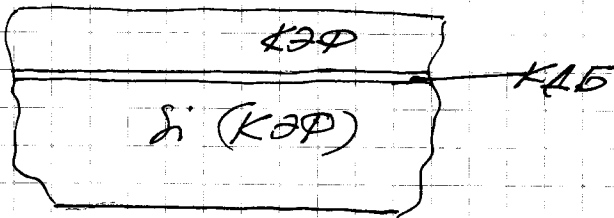
- эпитаксиальный
- метод осаждения

у газа ($\approx 1 \text{ мкм/мин}$)
при $t = 800^\circ\text{C}$.

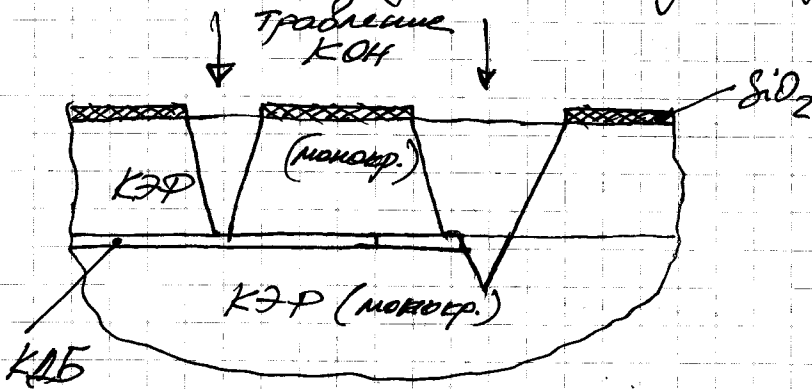
① Осаждение у газовой фазы



② Эпитакс. выращивание

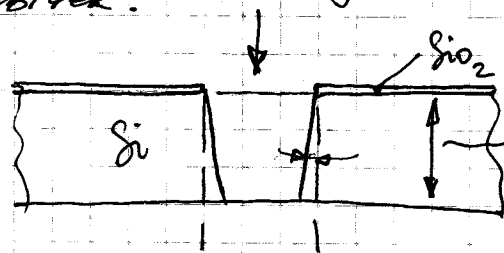


Можно получить след. структуру!

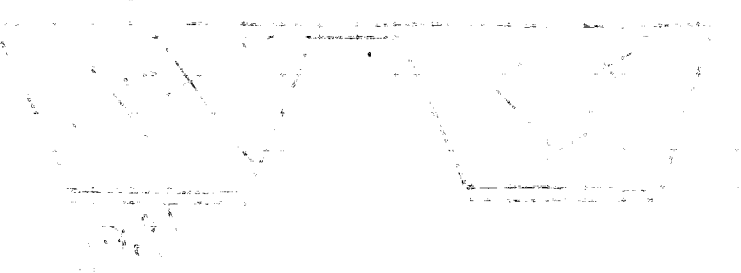
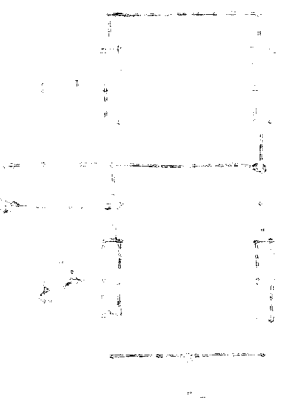
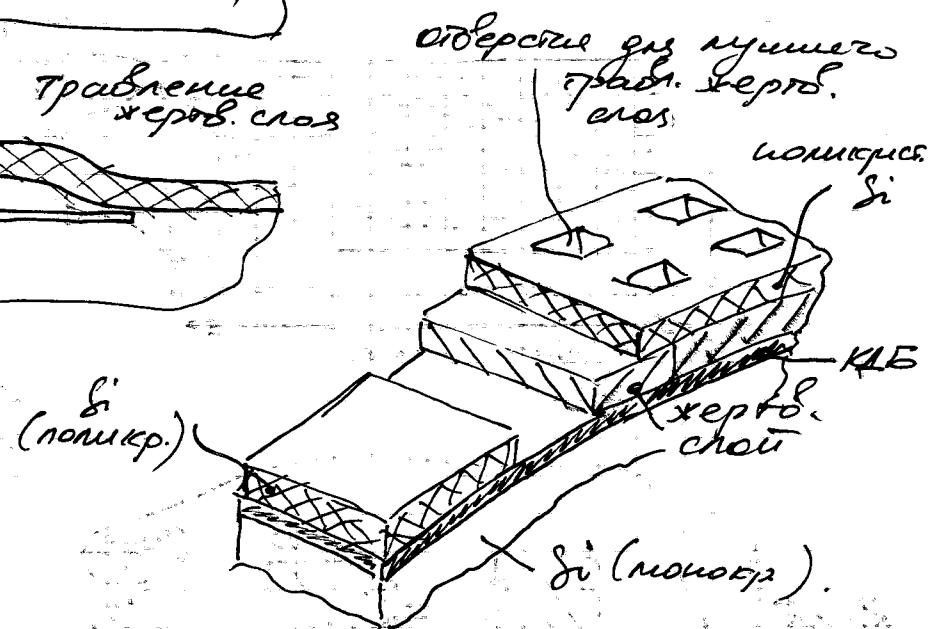
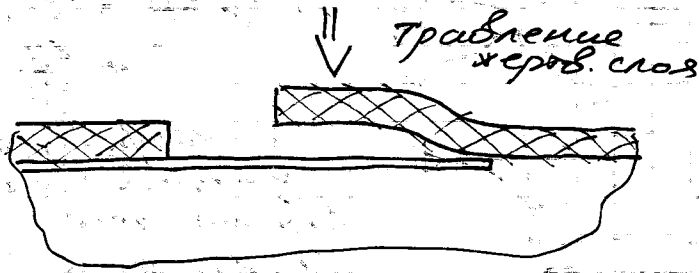
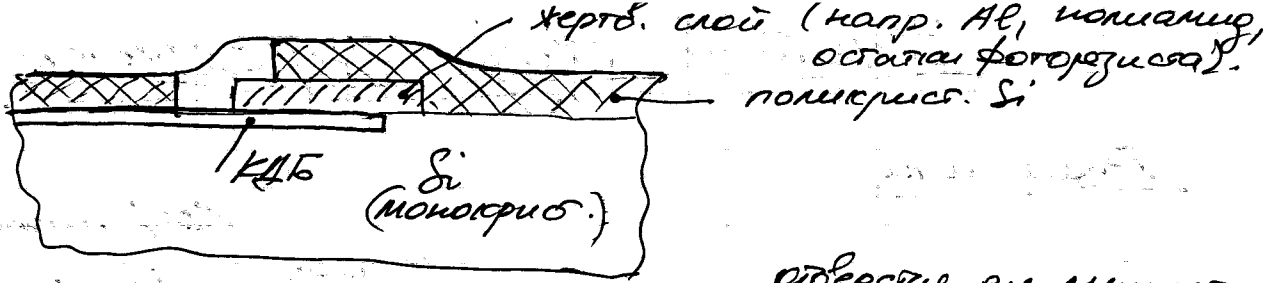


Плазменное травление

Бондардировка ионами газа. Рау δ 10 мкм и менее, чем травл. KOH . Не дает строго верт. стенок иерельчек.

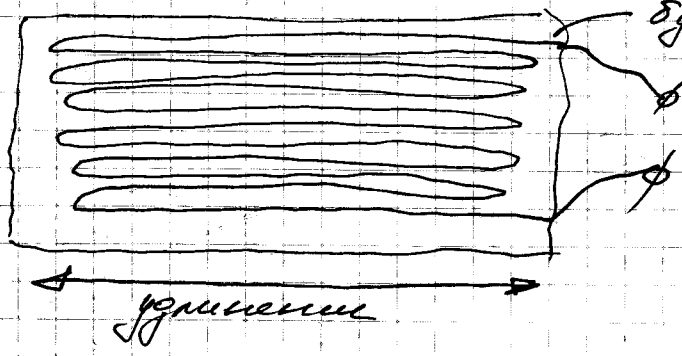


не более 60 нм.
оптм. 10..20 нм.

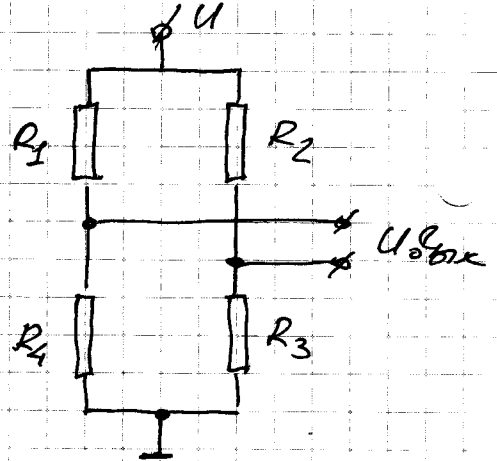
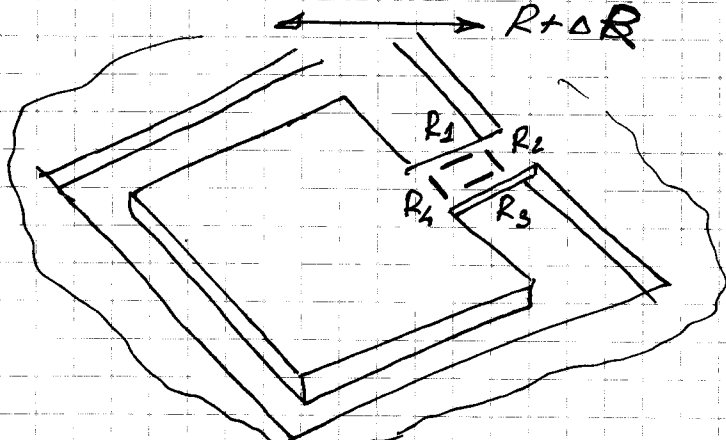
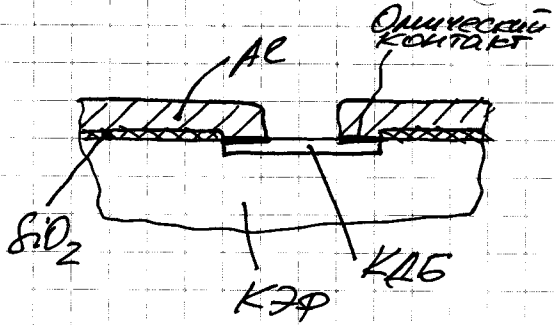
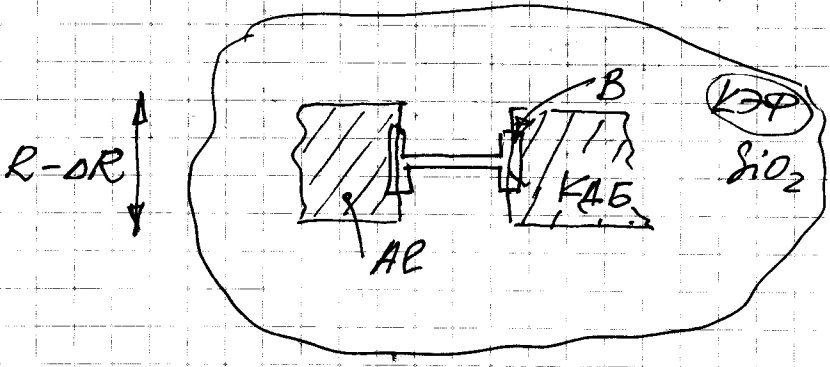


Устройства съема информации.

Тензодатчики.

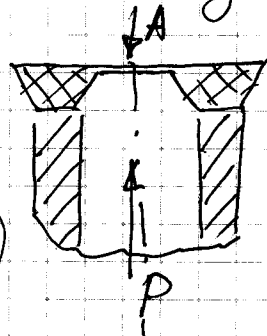
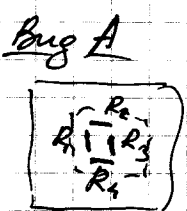
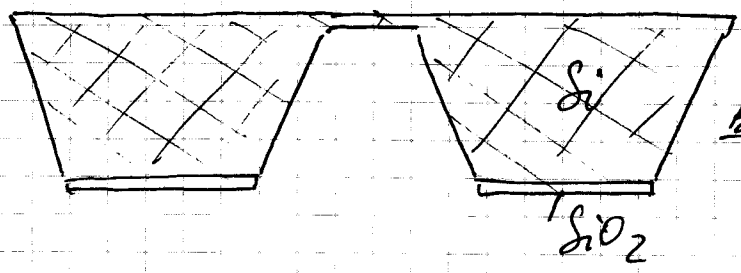


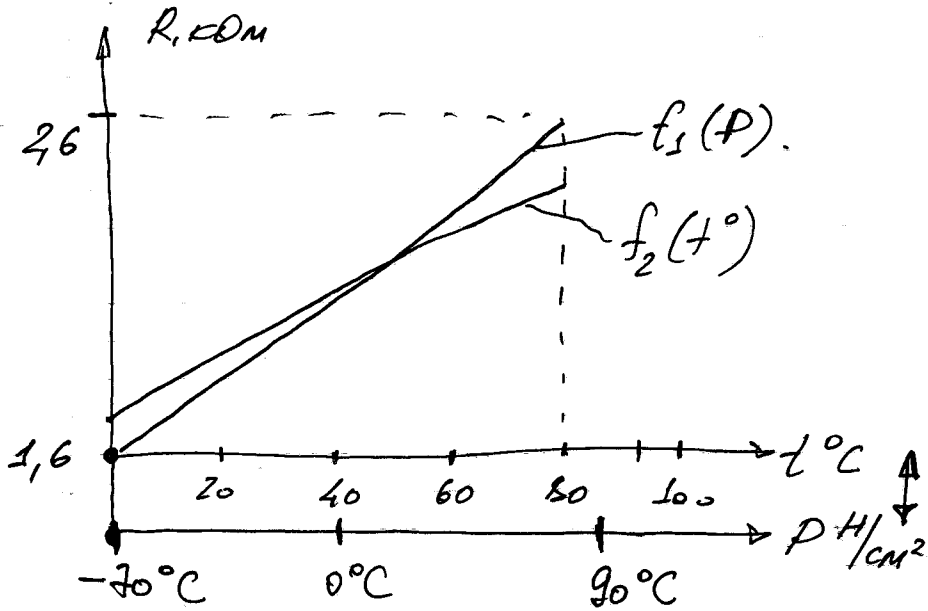
Кэф. тензочувств.
 тонкая бумага $\delta = \frac{\Delta R}{R_0} = (1 + 2\nu) \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \rho}{\rho_0}$
 ν - коэф. Пуассона.
 ρ - проводимость
 Для металлов $(1 + 2\nu)\epsilon \gg \frac{\Delta \rho}{\rho}$
 Для полупроводников $(1 + 2\nu)\epsilon \ll \frac{\Delta \rho}{\rho}$



$$U_{\text{вых}} = U \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

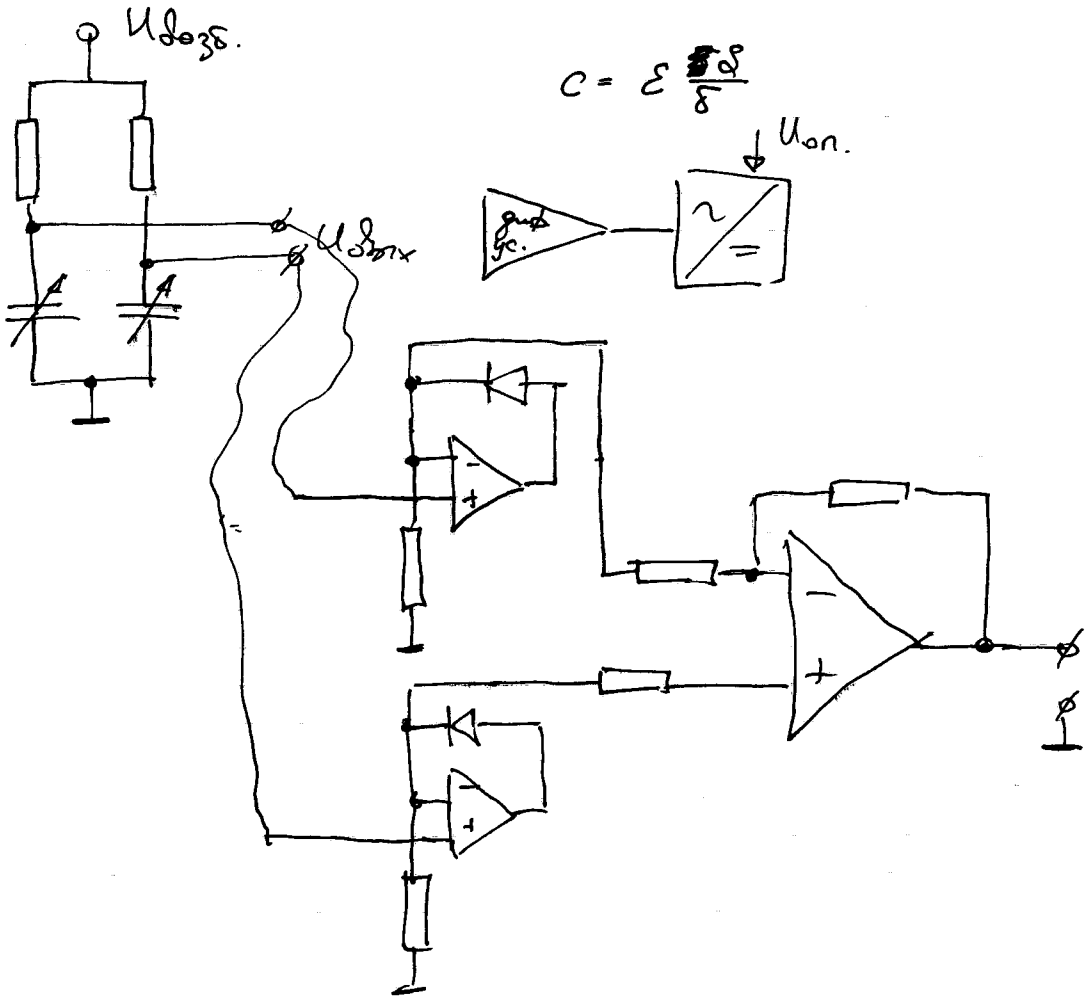
Сопротивление полупроводника сильно зависит от температуры. Применяется в микрометрических датчиках.





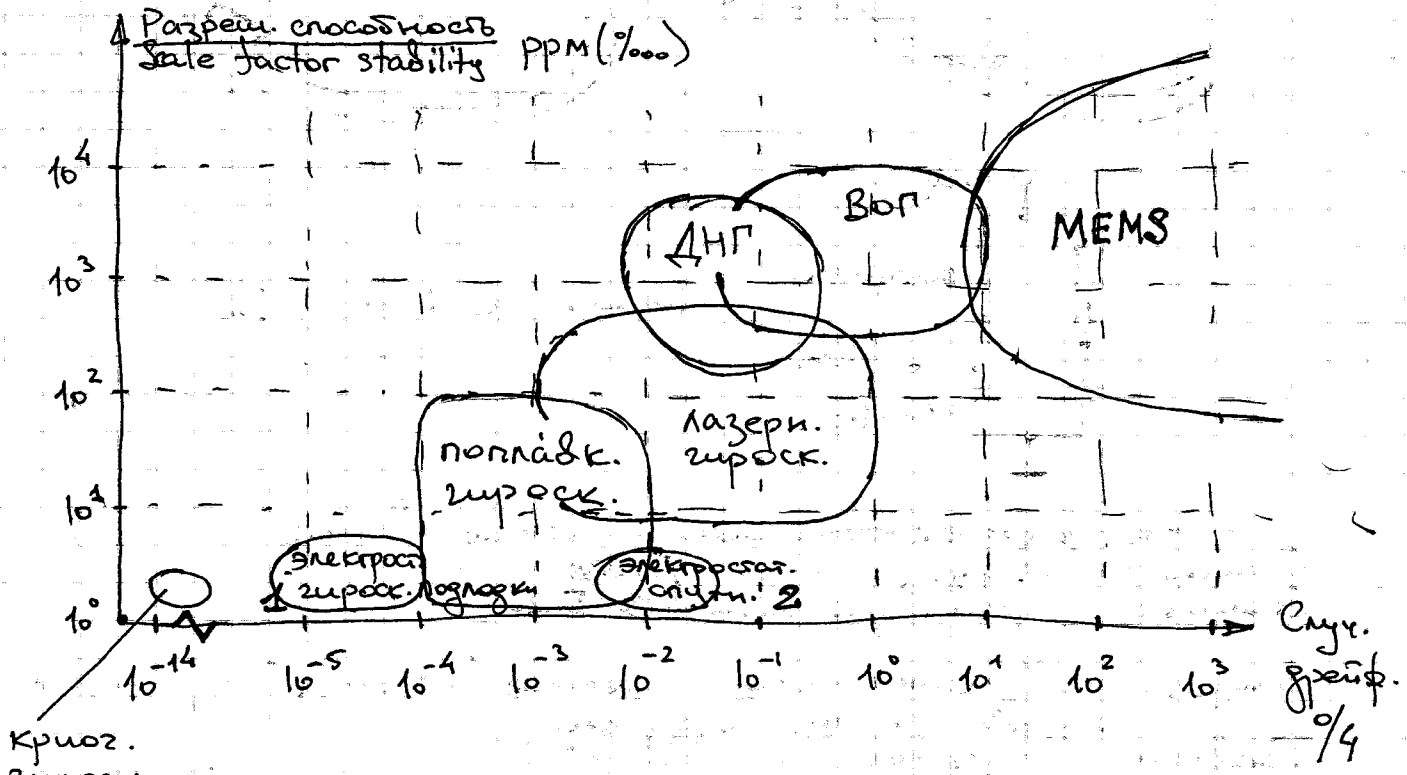
Достижимая
точность такого
датчика
на 0,1% от
диапазона
измерений
при $\Delta t = 100^{\circ}\text{C}$.

Ёмкостные датчики.

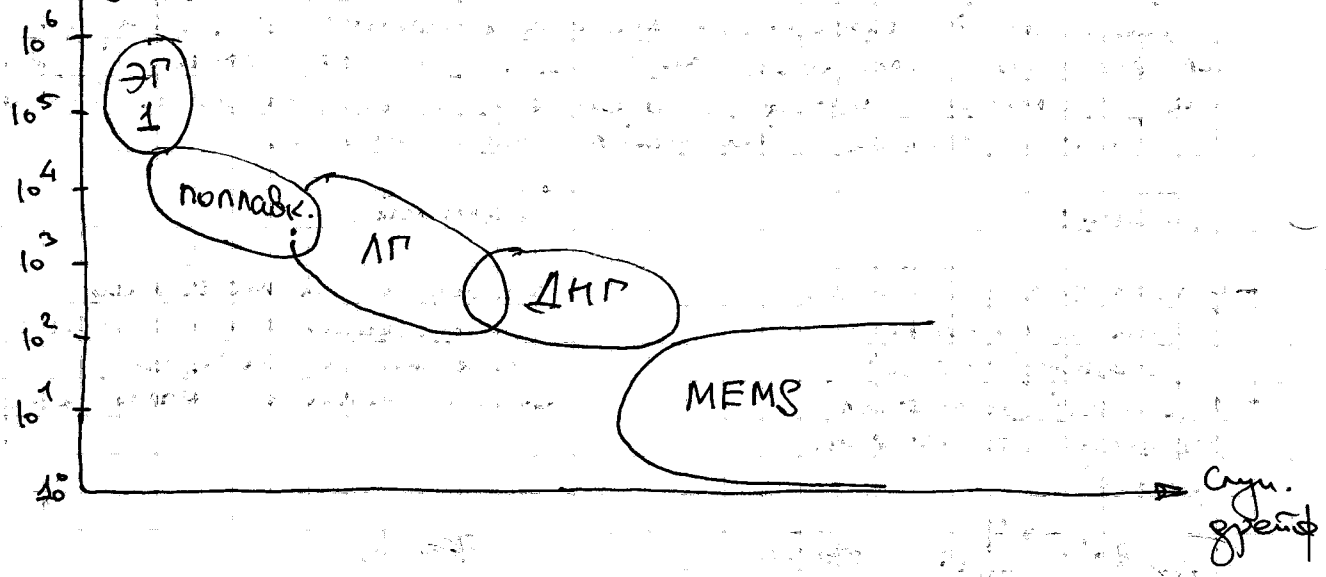


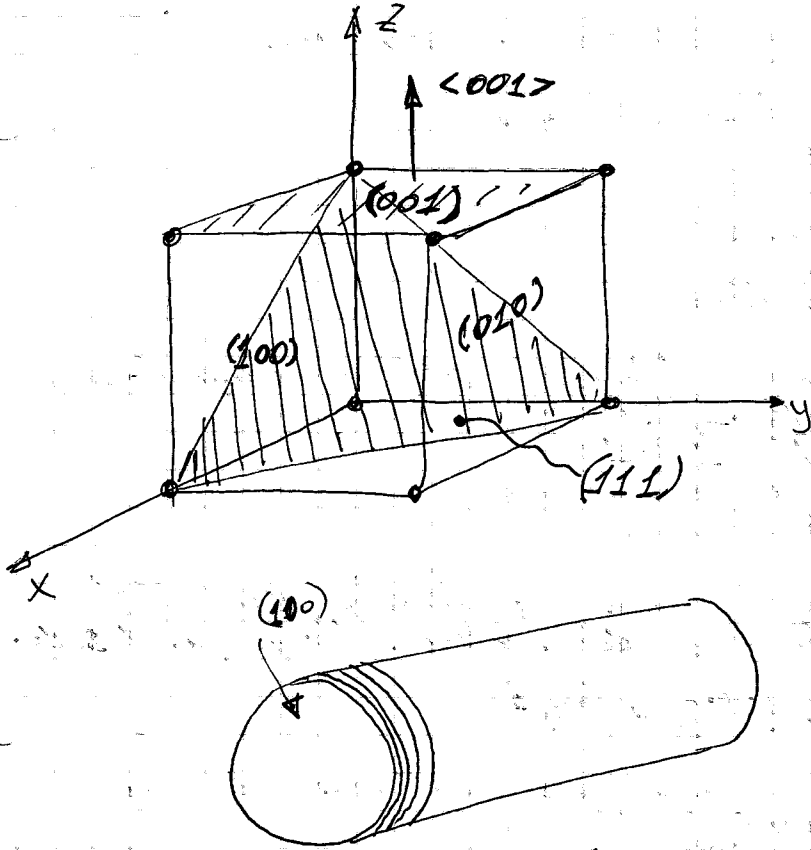
Пара дрм кварца - индар 3ВН с КТР $10^{-6} / ^\circ\text{C}$
 - супериндар 32НКА с КТР $0,56 / ^\circ\text{C}$
 Использ. как магнитопроводн (магнитометр.)

Кремний более чистый. Разборе цифр задант от направлениа силса в монокристалле.



Криоз. цирокс. стаишоа долл.





111 не работаем
110

Заготовки 3, 4, 5 диаметров
3" - 76 мм (толщина от 380 до 500 мкм)
4" - 100 мм

"Дырочная" проводимость - легир-е Бором: КДБ
"Электронная" проводимость - легир-е Фосфором: КЭФ

КЭФ 4, 5 - 76

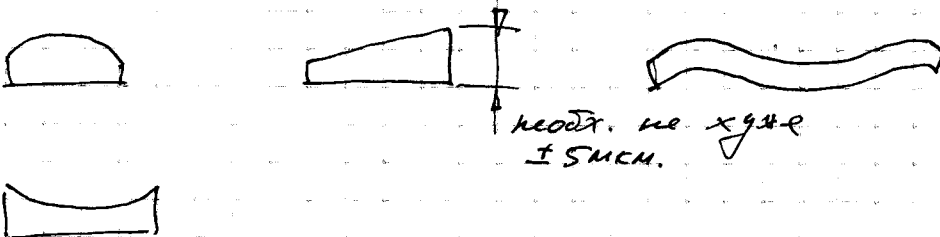
4, 5 - проводимость кремния, Ом/см
76 - диаметр.

Обрабат-ся не хуже стали:

- алмазное шлиф-е. Зернистость круга не более 50. 40 мкм
скорость круга $\phi 200..250$ мм не более 2500 об/мин
продольная подача не более 2.4 мм/мин.
поперечная подача 2.5..10 мм/ход.

При обработке покр-л. микрошероховатость до 20 мкм.
Поэтому до обраб-ки нужно грабить.

Погр-ти формы кремния:



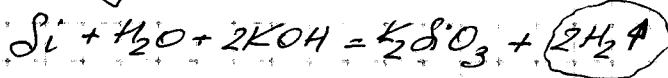
Кремний обладает следующими параметрами:

- плотность
- коэф. терм. расширения
- теплоемкость
- теплопроводность
- электропроводность

Анизотропные свойства:

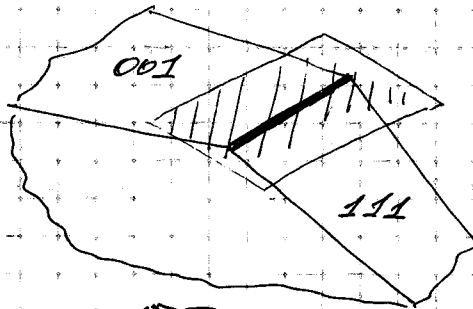
- твердость
- модуль Юнга (разл. до 30% по направ-ям)
 $111 - E = 1,82 \cdot 10^6$
 $100 - E = 1,3 \cdot 10^6$
- скорость хим. окисления
- скорость травления

В качестве травителя используется раствор KOH 33%.
Температура травления 100, 107 °C. Число при 105, 107.

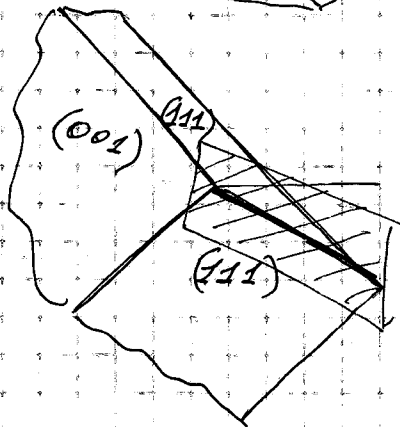


Скорость травления при данном темп. режиме:

- 100 - 3,1 мкм/мин.
- 110 - 4,5 мкм/мин.
- 111 - 0,007 мкм/мин.



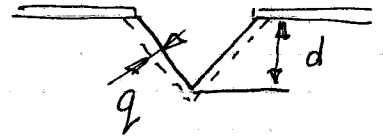
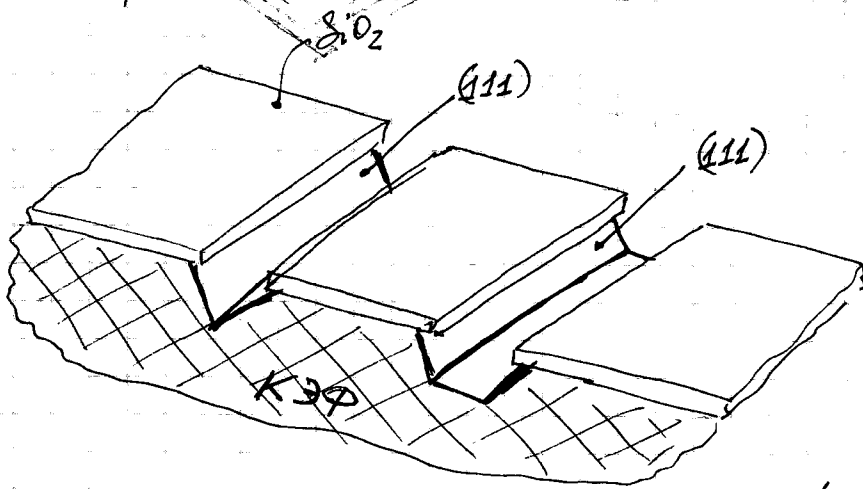
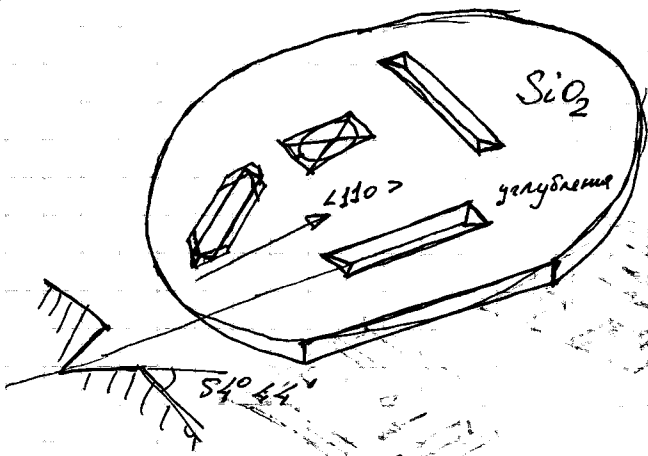
Скорость травления глубь
ребра 4,5 мкм/мин.



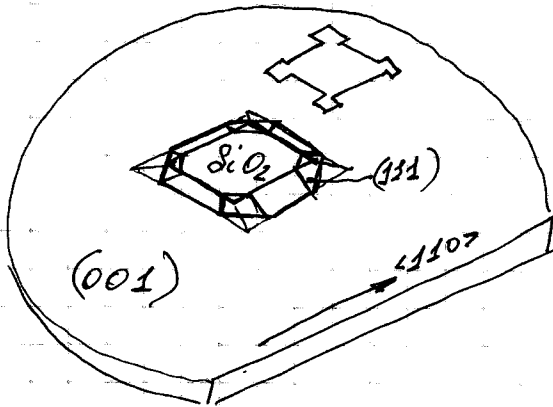
ребро травится
со ск-то 4,7 мкм/мин.

Окружность - пирамида на
ЗМКА

Внутренние углы зашлицены
не грабел

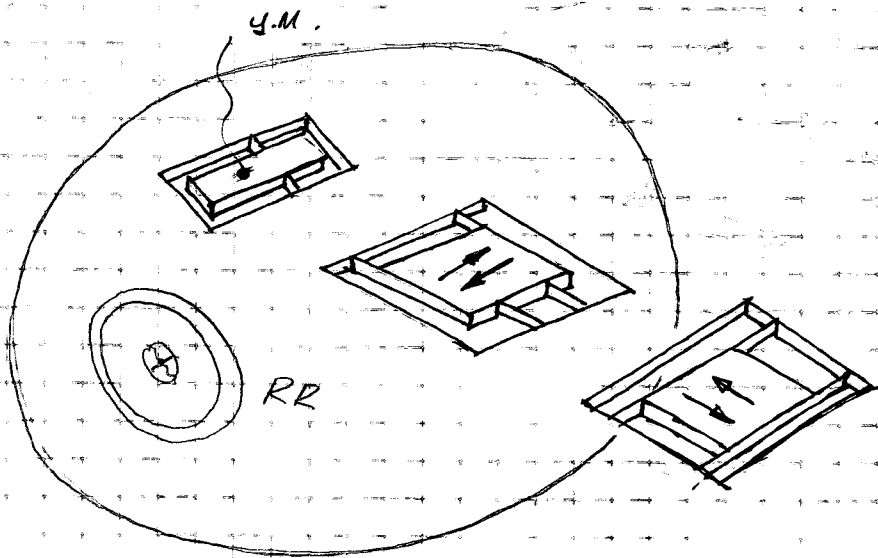


$$\frac{d}{q} \sim 500$$



Наружные углы
не зашлицены

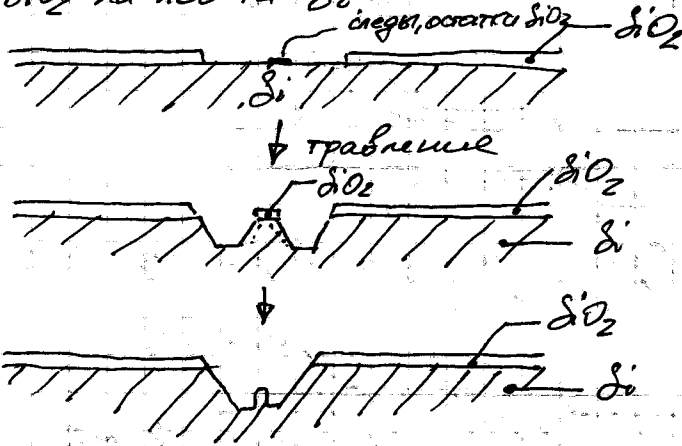
"Инерциальная система на площадке"



В качестве травителей Si используют:

1. Микро гидроэзия

- ядовит
- совершенно не растворяет окисл кремния т.е. не нужно выравнять толщину пленки SiO_2 на пов-ти Si .

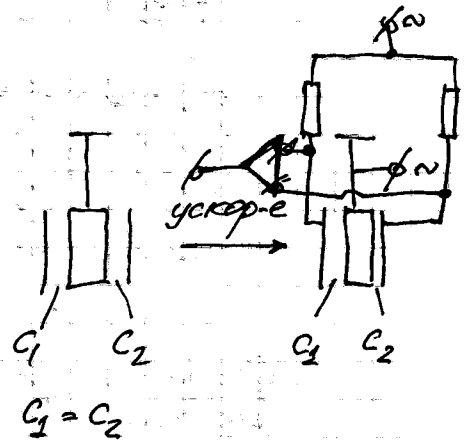
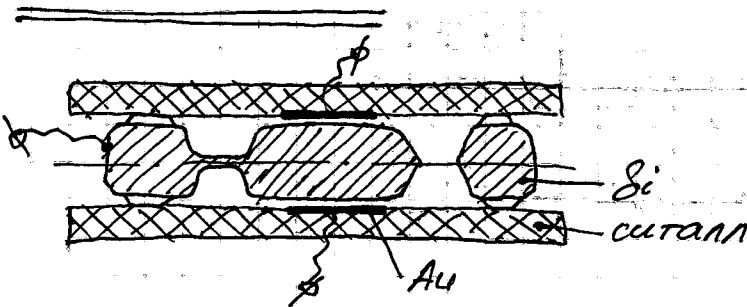


2. Едкий кали КОН.

- растворяет SiO_2 .
- анизотропный травитель

Уровень микроуровневостей уменьшается при циркулирующей травителе в брызг травления. Т.е. предположительный травить пластину в верт. положении когда циркуляция осуществляется за счет выдел-ся пузырьков водорода.

Травители на основе едкого кали - щелочн. травитель. Исп-ся на фин. этапе в качестве полировки.



По такому принципу устроены прибор Analog Devices.

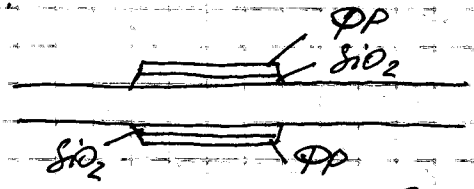
ТП получения прибора.

- 1) Подготовка Si КЭФ с м-но среза (100).
- 2) Подготовка пластины. Во влажный кислород и окислется до слоя окисла $\sim 0,1$ мкм.
- 3) Слой На пов-ть наносится тонкий слой фоторезиста. Слойови:
 - метод центрифугования. фоторезист равномерно распредел-ся центробежн. силами.

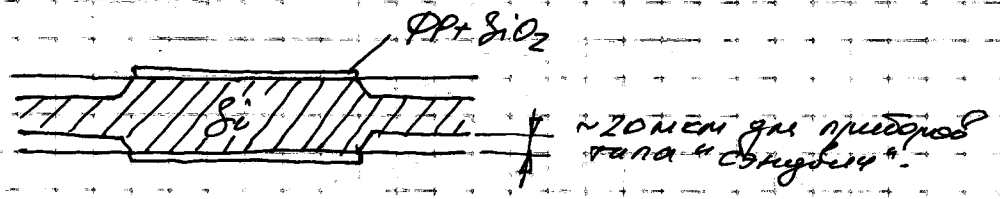
④ На пов-ти накладывается фотошаблон (маска) 1. с двух сторон. точность совмещения порядка десятых долей микрона.

⑤ За фоторезистом засвечивается. Фоторезистом осв-ся защищаются только места под маской.

⑥ Пластика погружается в HF. Срабатывает SiO_2 .



⑦ Подготовка погруж. в раствор KOH (оптимум 33%, $t = 105^\circ\text{C}$).

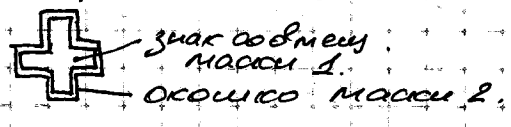


⑧ Окисляется кремний, Толстая пленка ~ 2 мкм.

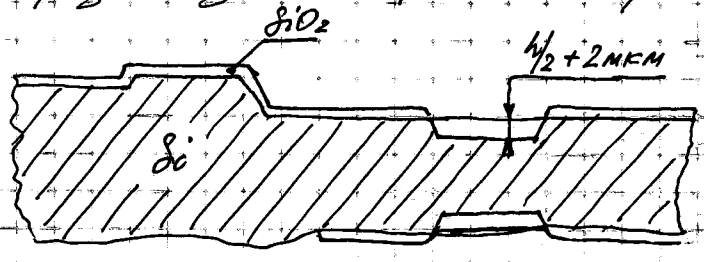
⑨ Покрытие фоторезистом.

⑩ Экспонирование маски 2.

Ориентирование осц-ся с помощью знака совмещ.



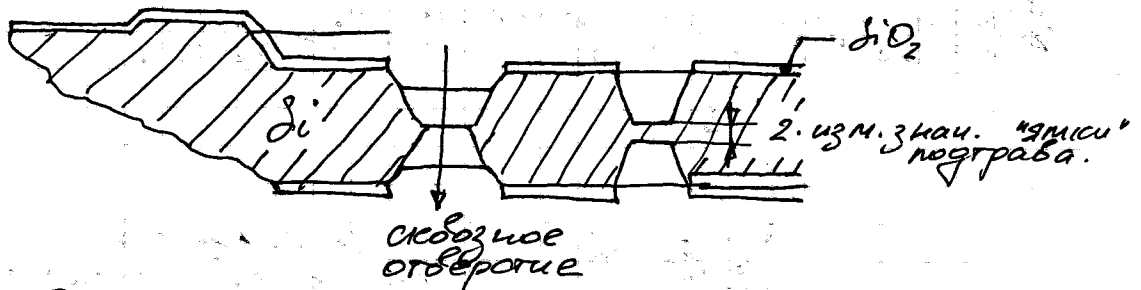
Фоторезист засвеч-ся, окисл срабатывает.



Скорость травления заранее неизвестна. Зависит от температуры, % раствора. точность скорости травления ~ 10%. Поэтому лучше использовать точных размеров так травить нельзя.

Поэтому сначала шлиф-ся подраб ~ 2,5 мкм на глубину $1/2 + 2$ мкм. Затем шлиф-ся с глубиной подраба.

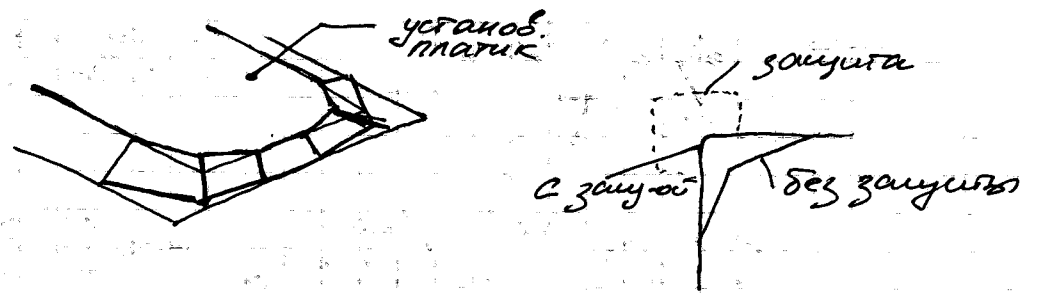
⑪. Используются маска 3. Окисляется и выкрывается только там, где нужно получить лучше керемички.



При наводности, деградируют до получ. упругой перемычки нужной толщины.

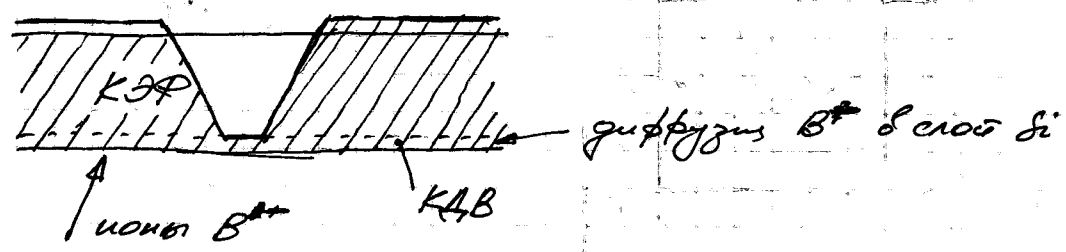
Проблемы:

1. Получение платиков.



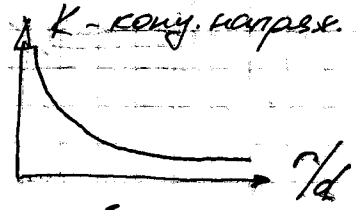
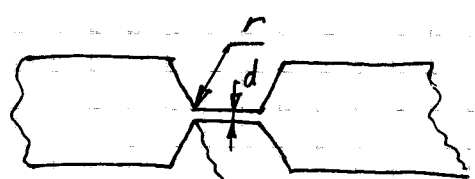
2. Если попался дефектный кристалл (дислокация) в месте упругой перемычки, то возможно получение "горок" и "горок".

Метод "стор-слоу" для получ. упругих перемычек.



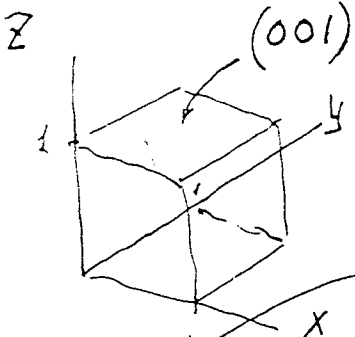
1. Односторонняя перемычка.
2. Бор диффундирует только на ВММ.
3. Бор создает напряжение в слое Si. Поэтому получается кероная перемычка.

Общий недостаток рассмотренного ТП - форма перемычек



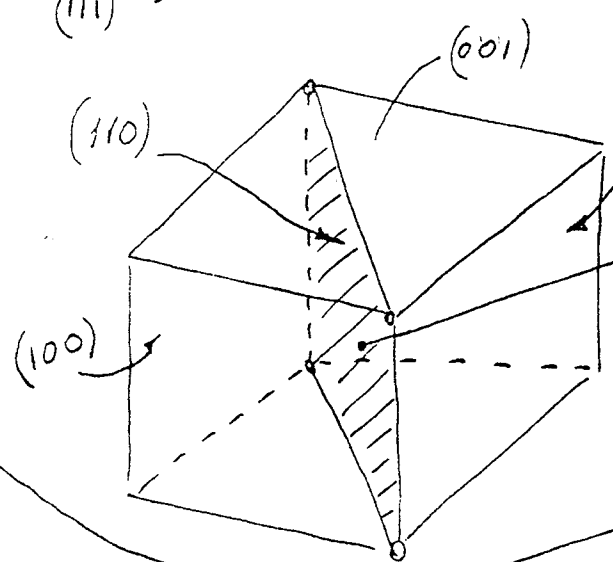
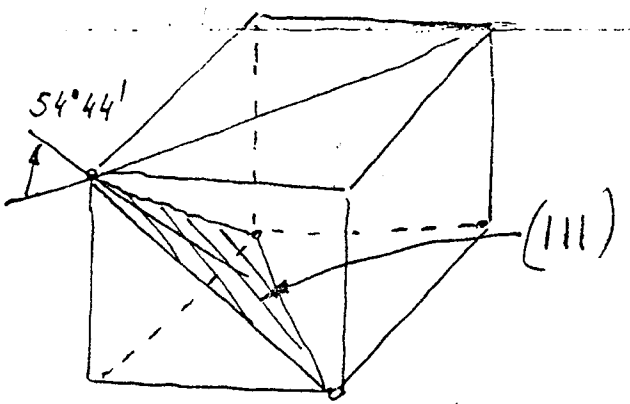
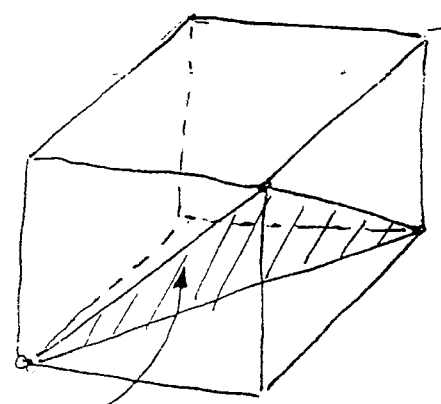
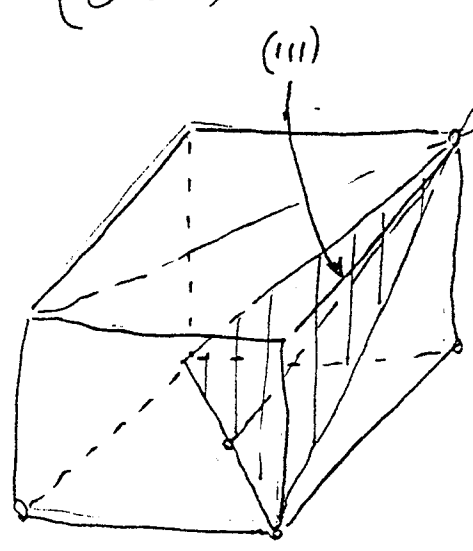
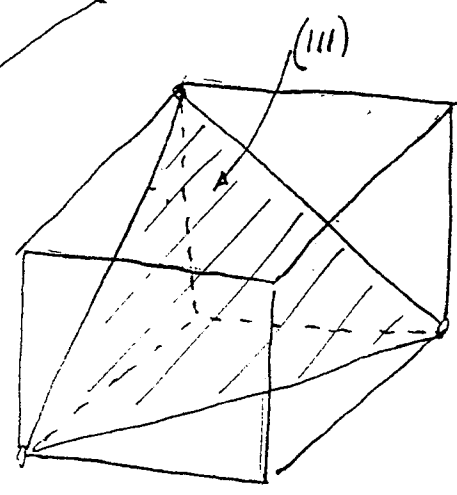
нет радиуса скругления в углах

... ..



плоскость пирамиды
(001)

$54^{\circ}44'$

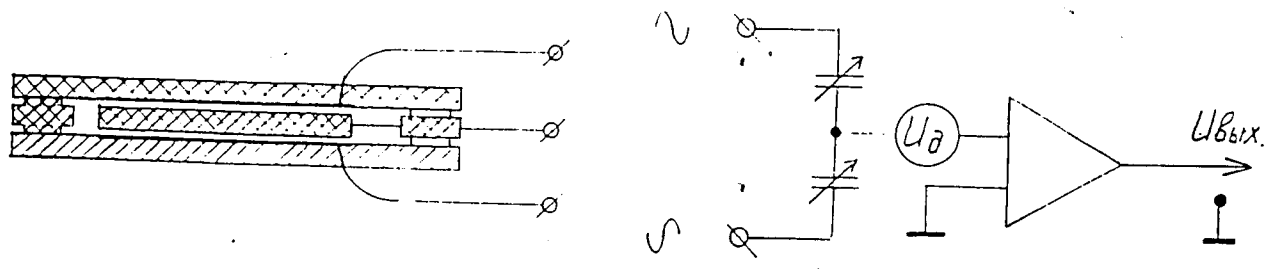
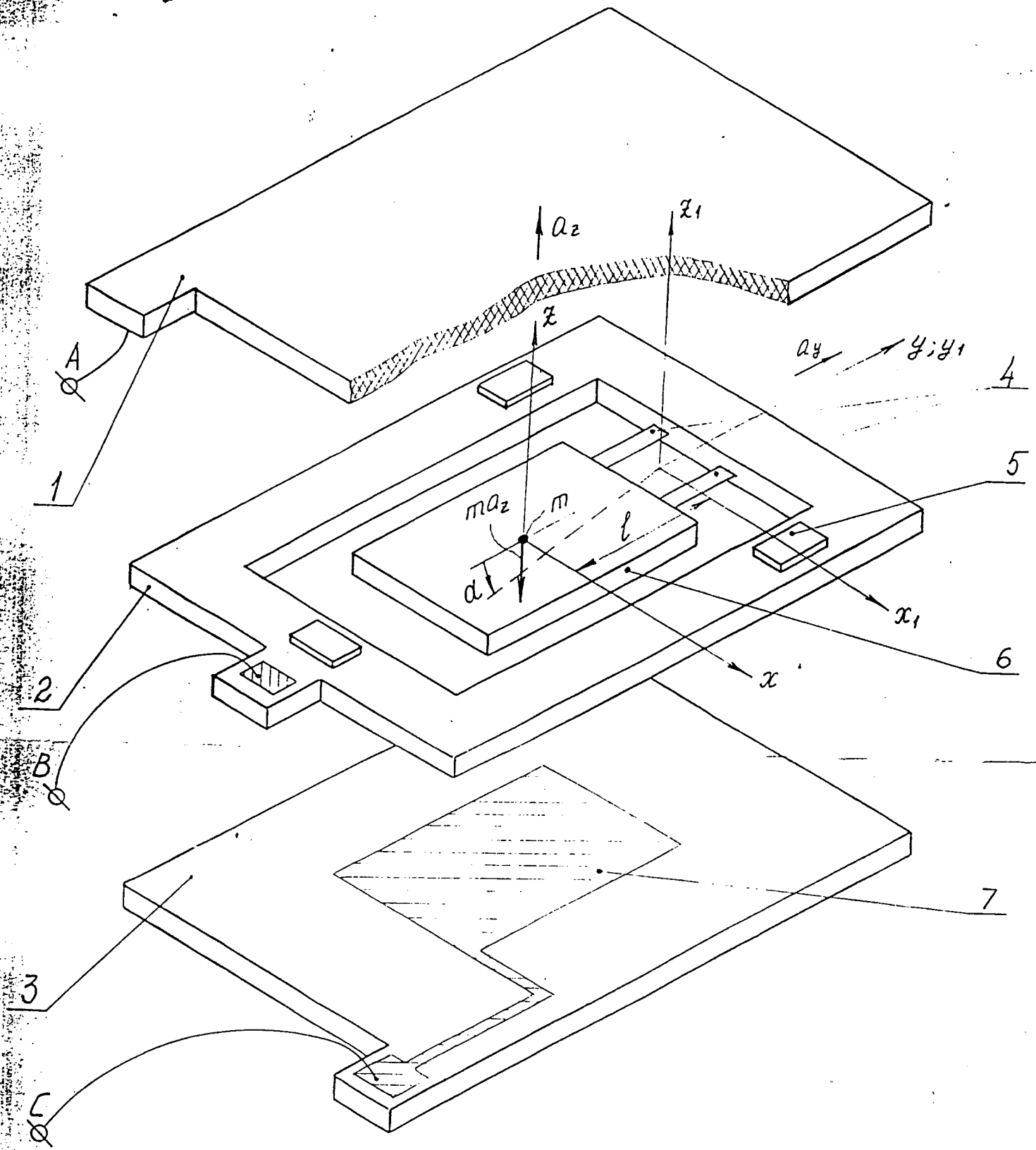


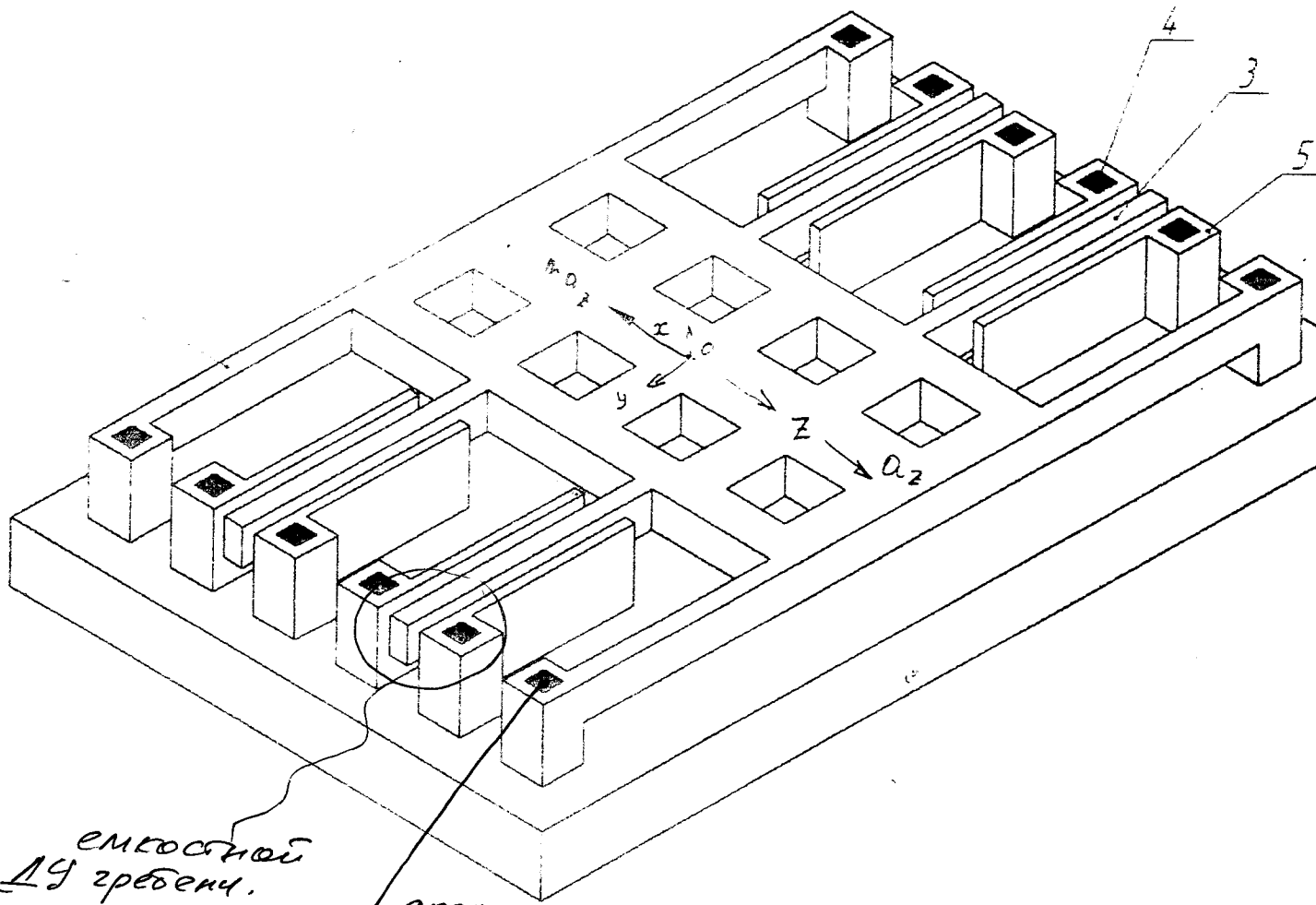
$\langle 110 \rangle$

90°

Срез

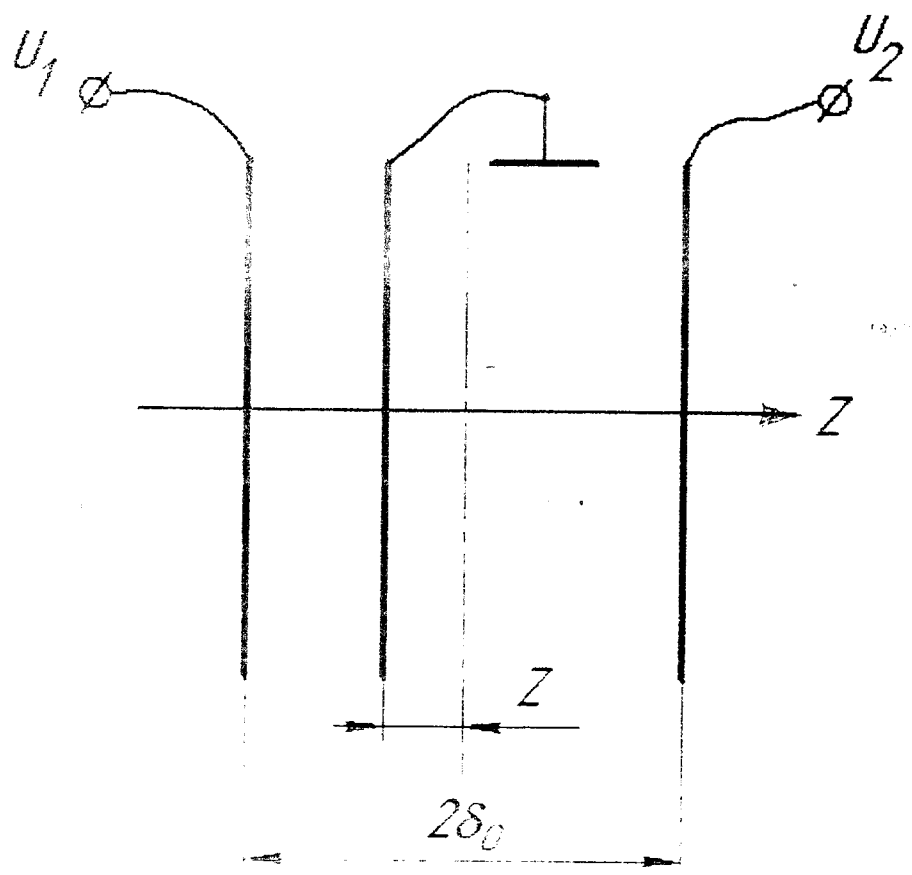
$\langle 110 \rangle$

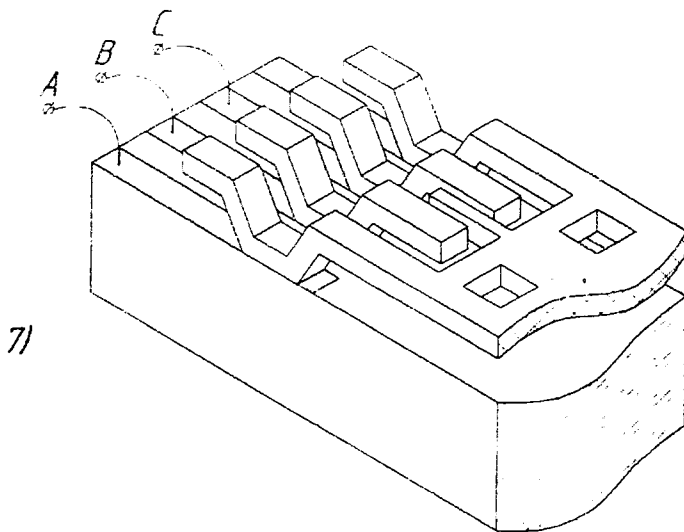
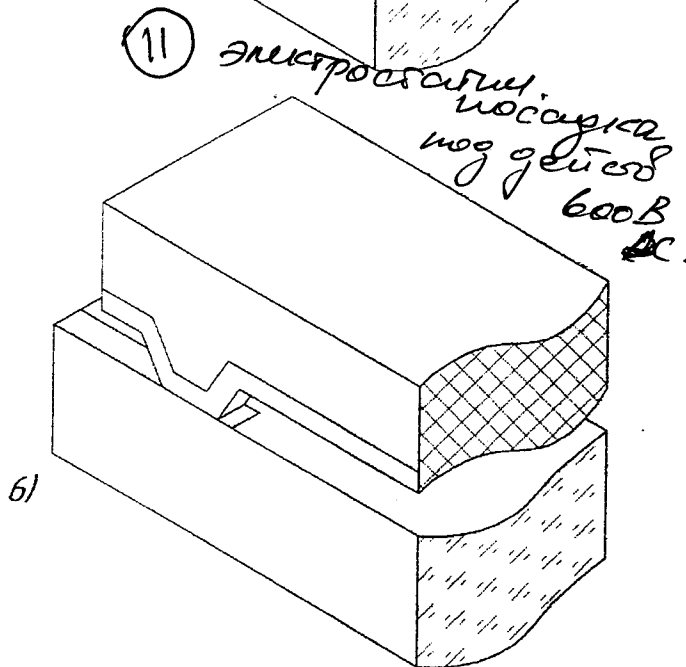
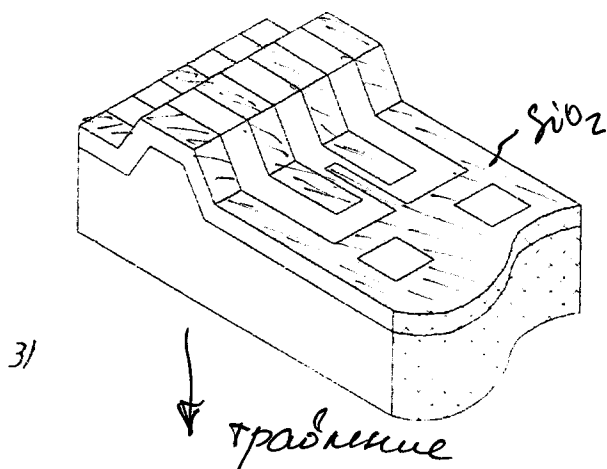
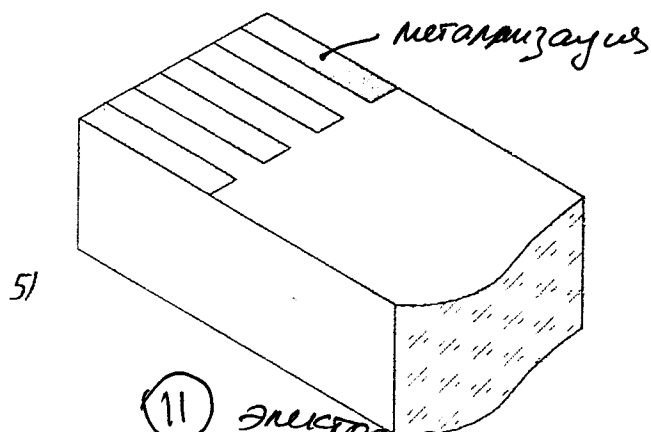
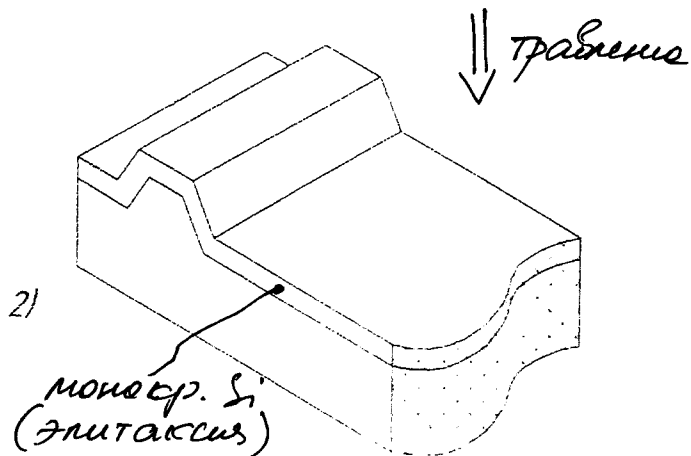
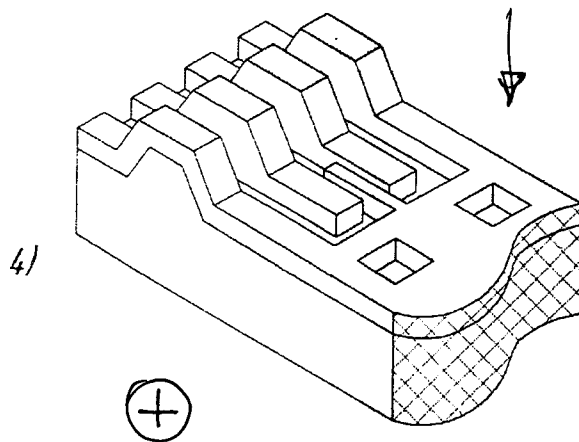
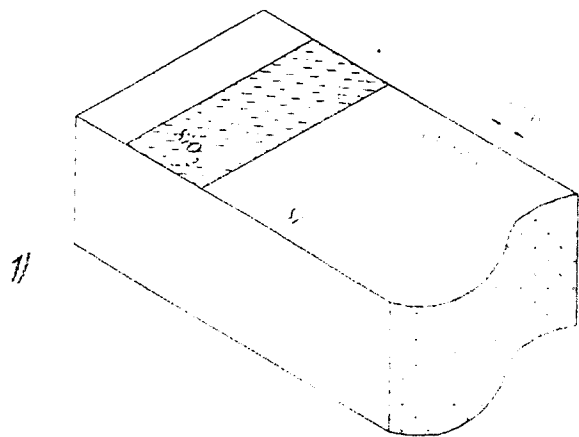


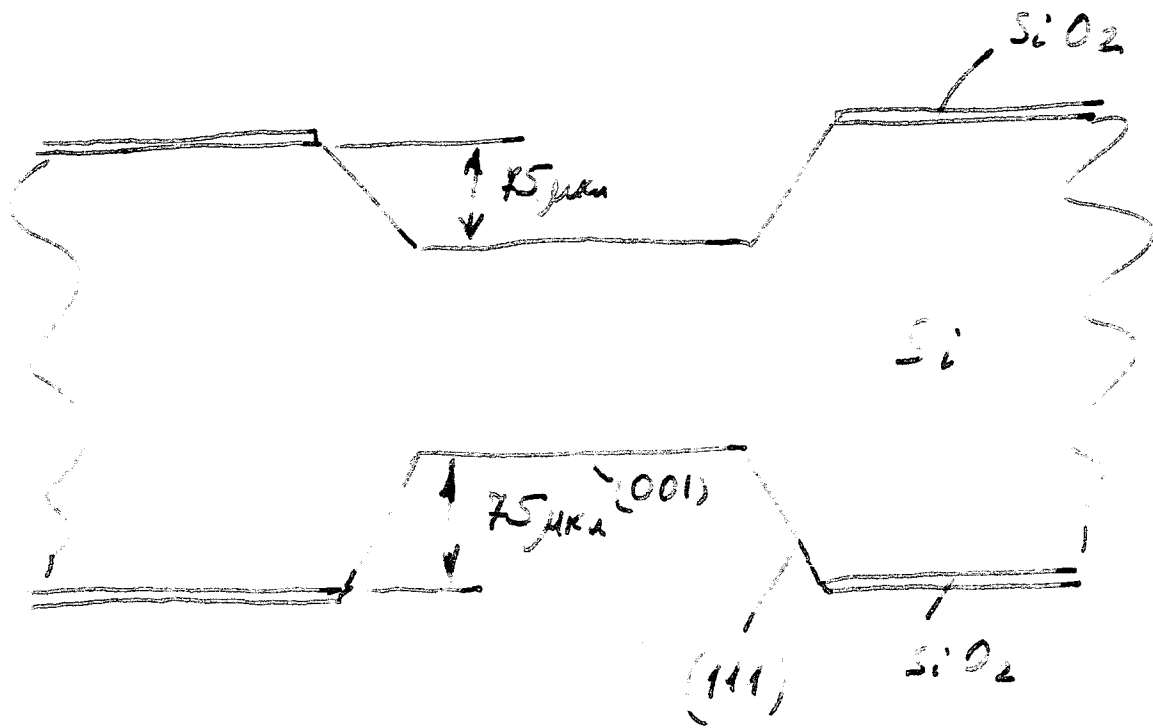


емкостной
ДУ гребенч.
типа.

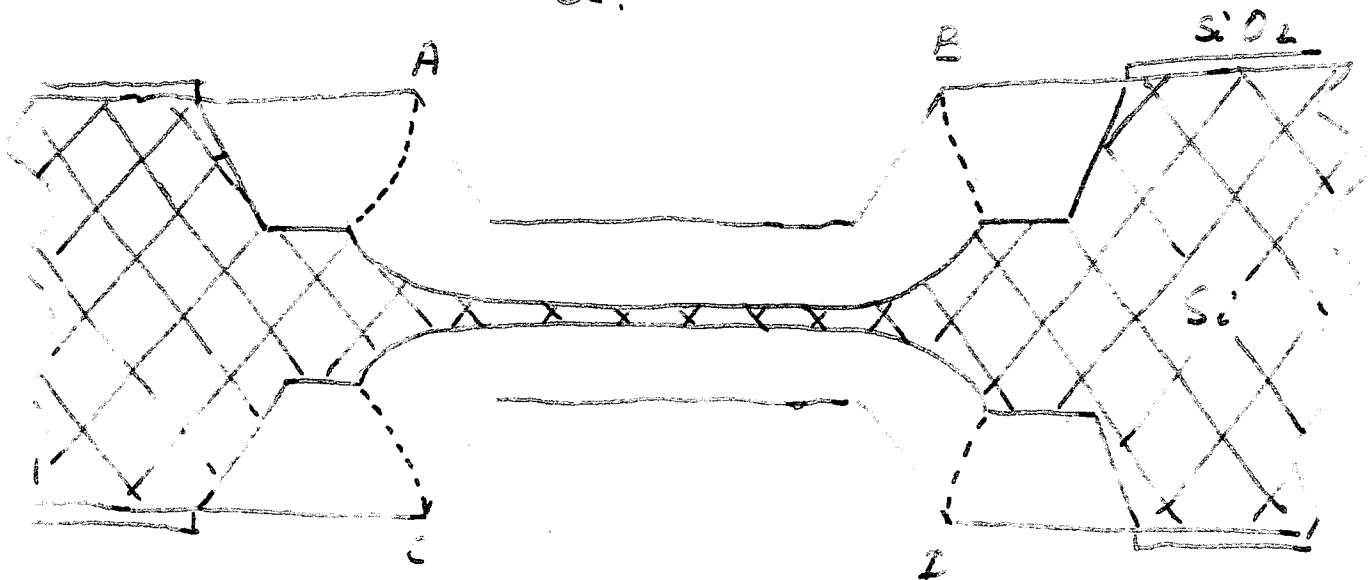
звонки
крепятся к основанию







a.



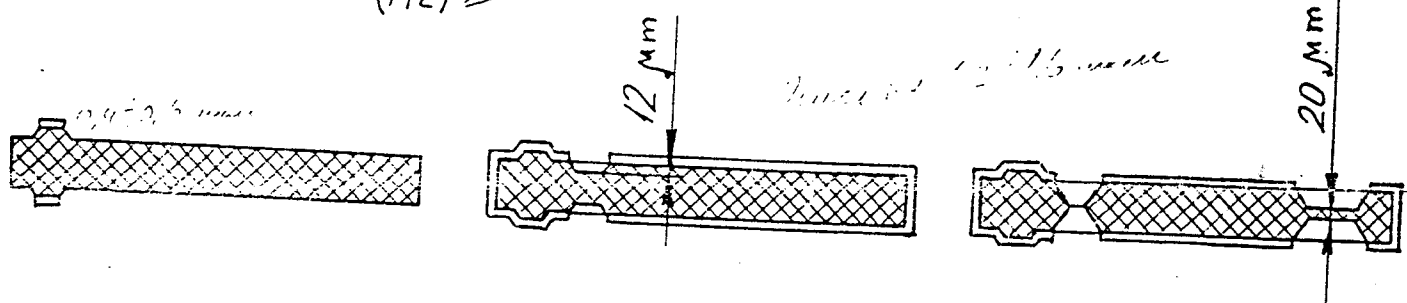
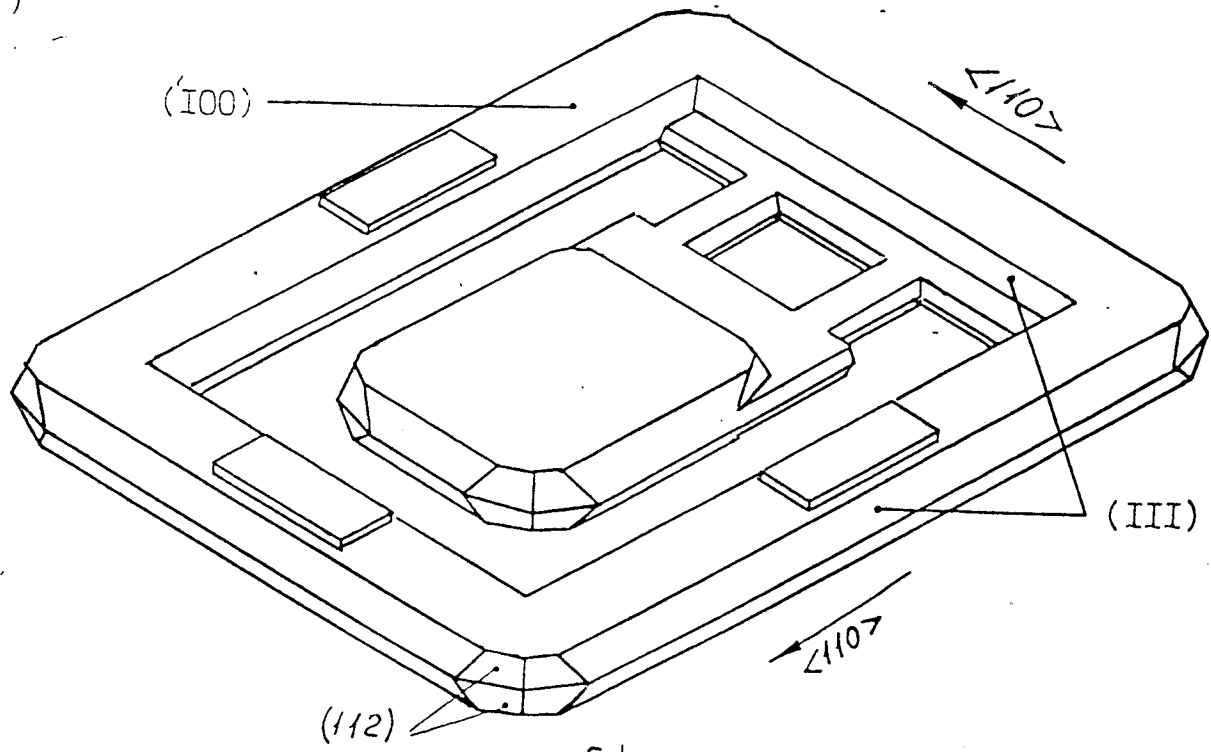
5

Pa. 7

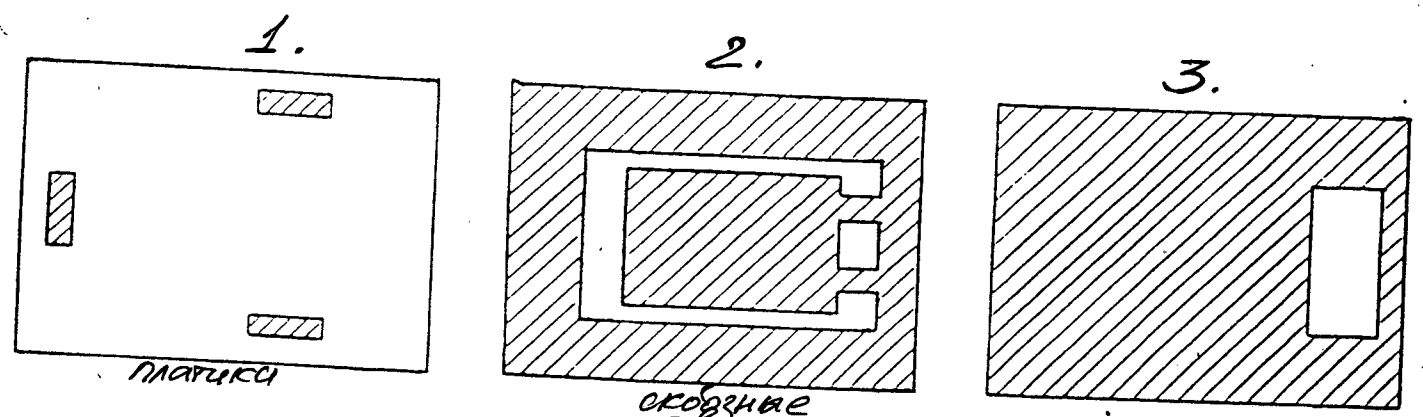


Page 3

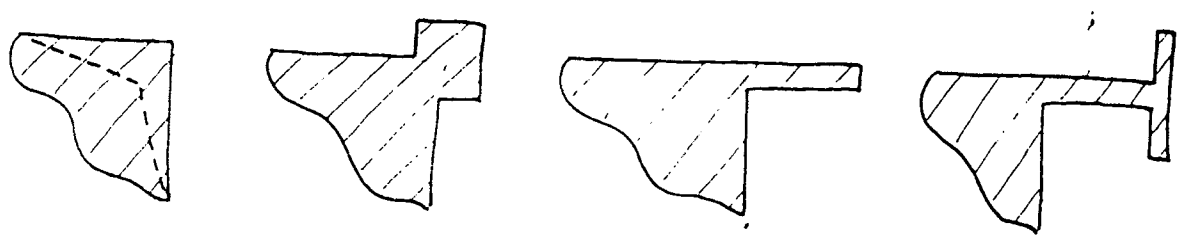
"Si-flex"



Mask



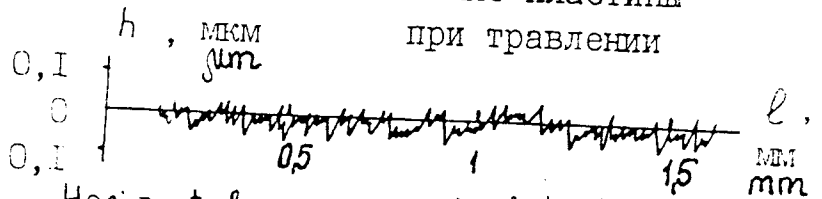
Angle protection



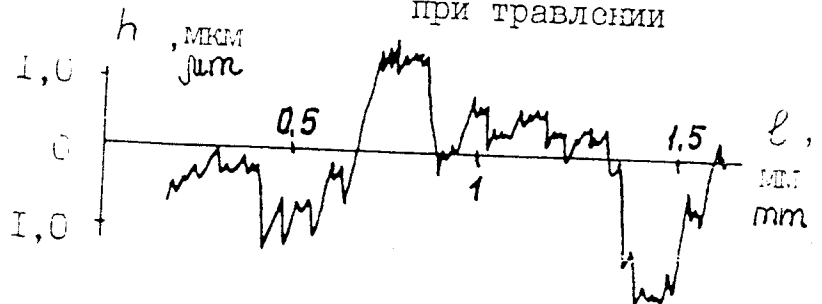
Dependence of roughness height at the flexure on etcher parameters

Зависимости высот неровностей на поверхности балок от параметров травителя

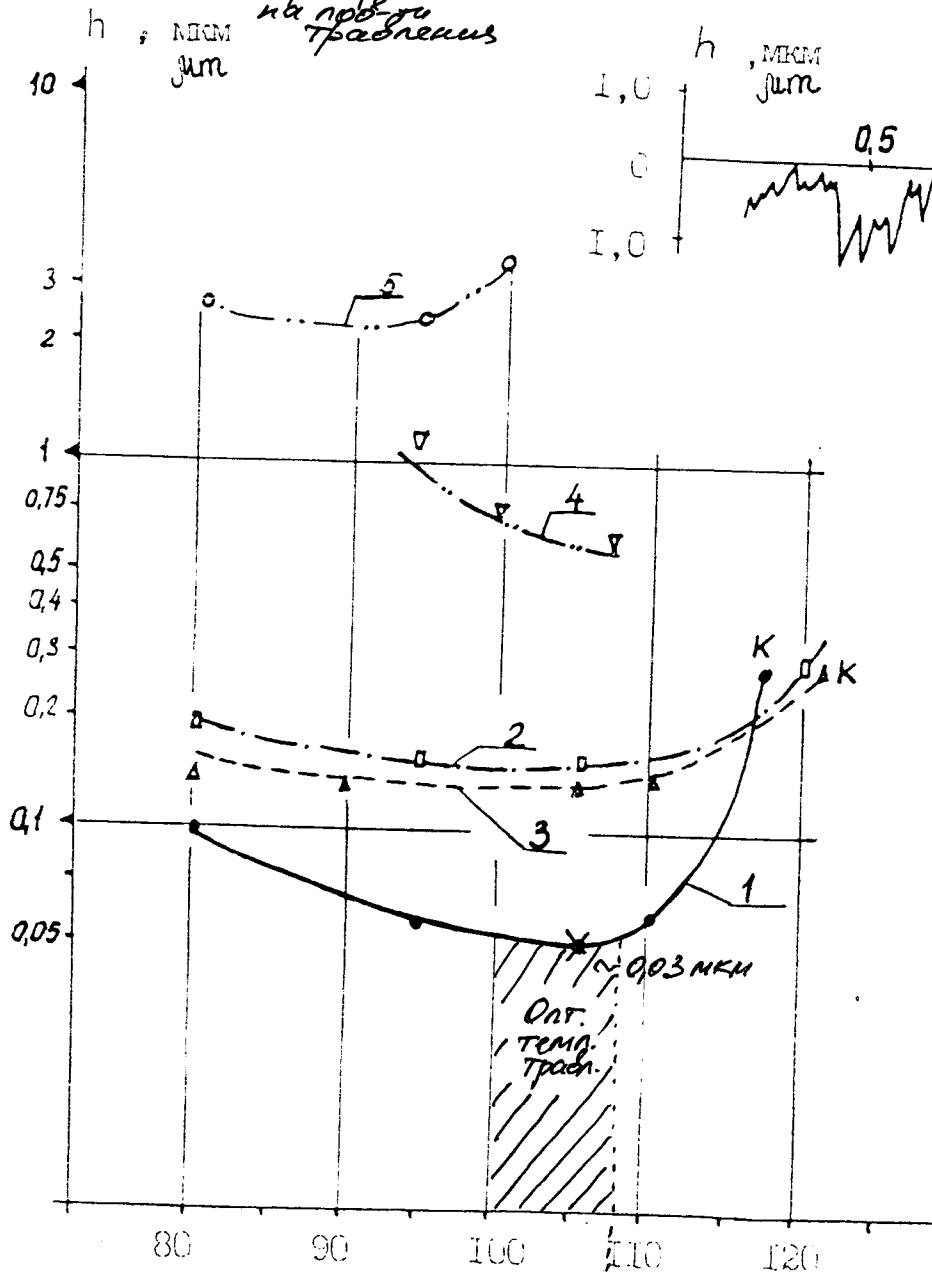
Vertical position of plate during etching
Вертикальное расположение пластины при травлении



Horizontal position of plate during etching
Горизонтальное расположение пластины при травлении



Высота макронеровностей на поверхности
h, мкм



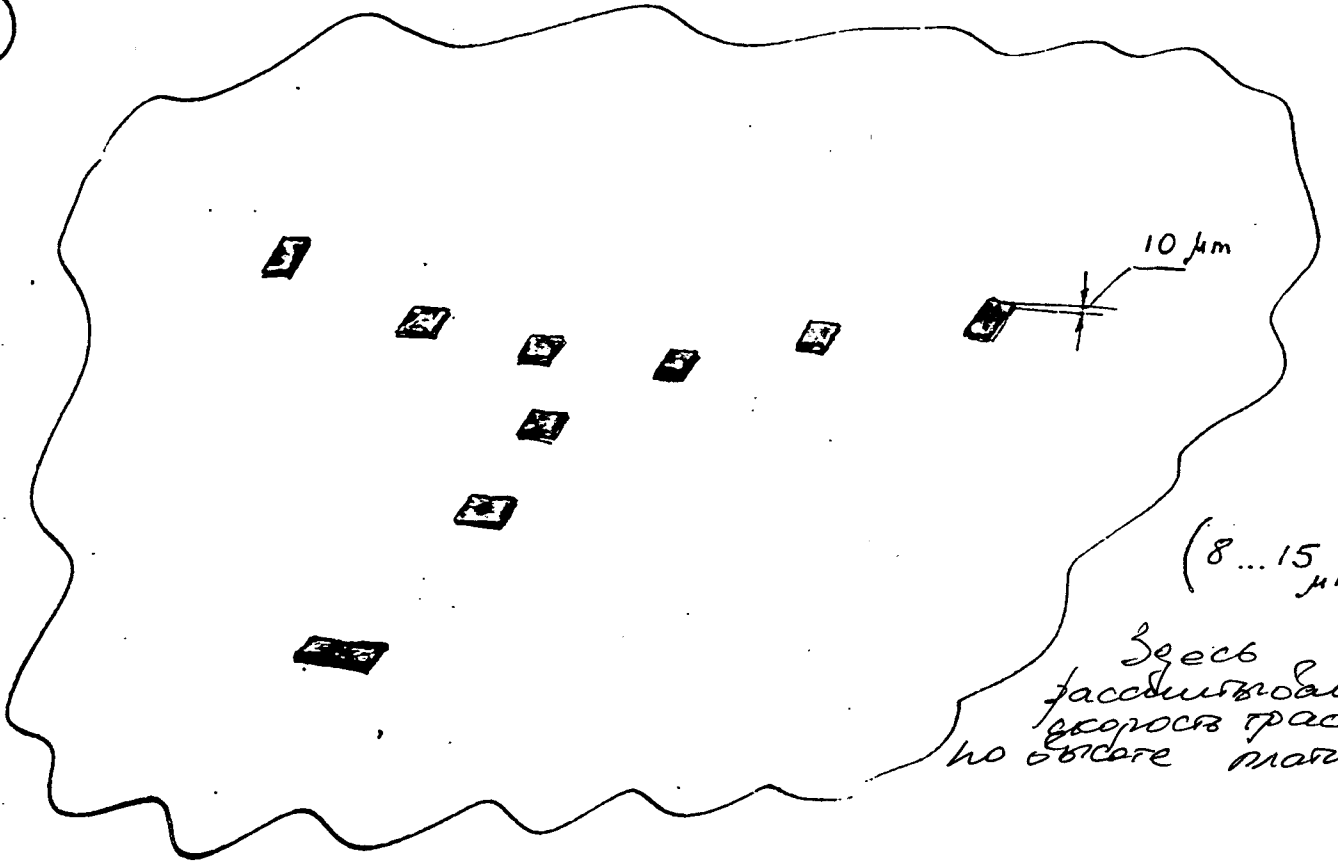
- 1 - 33% KOH - *min. макро-неровности*
- 2 - 40% KOH
- 3 - 50% KOH
- 4 - 25% KOH
- 5 - 20% KOH

t, °C

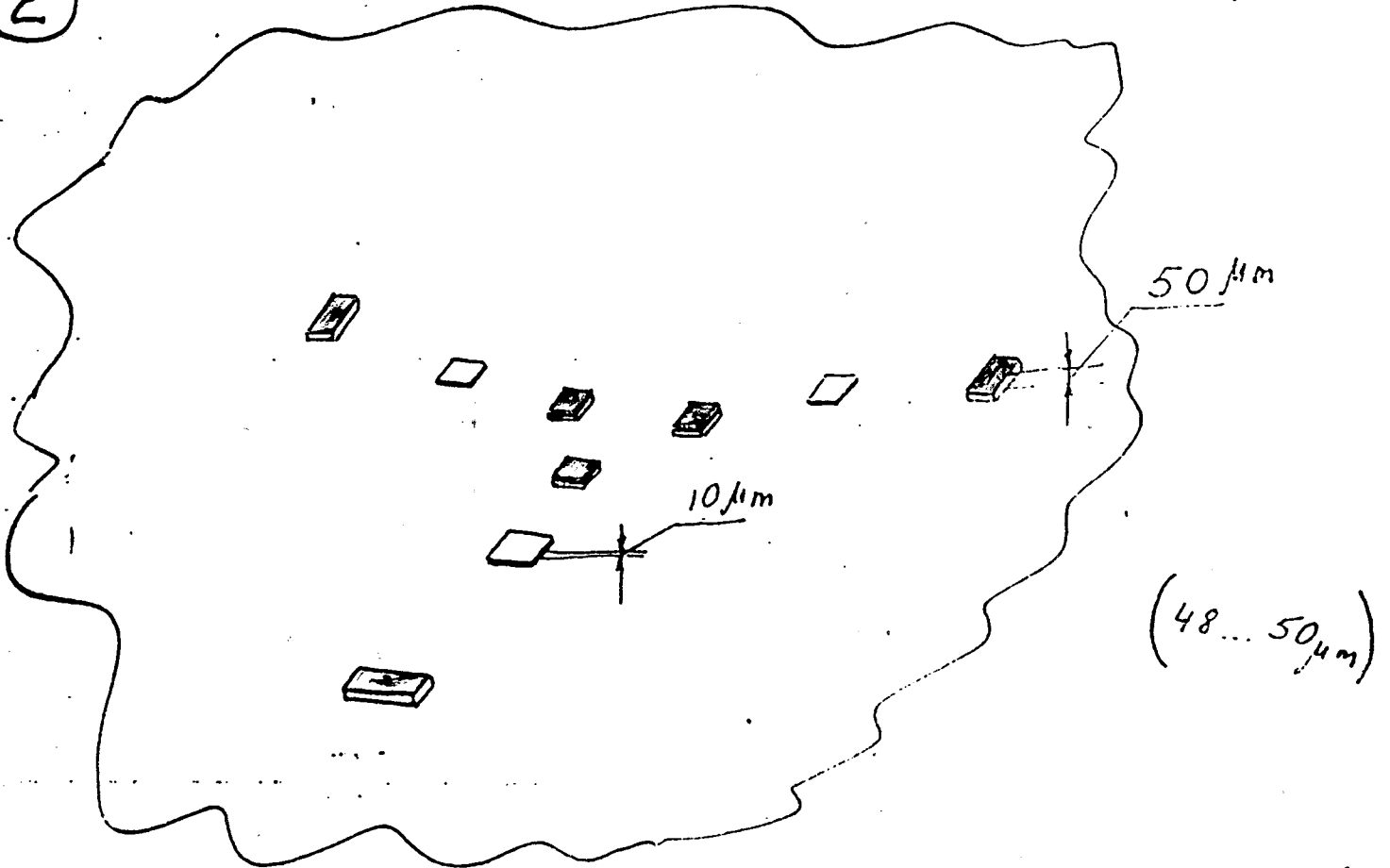
Рис. 2

105, 107°C

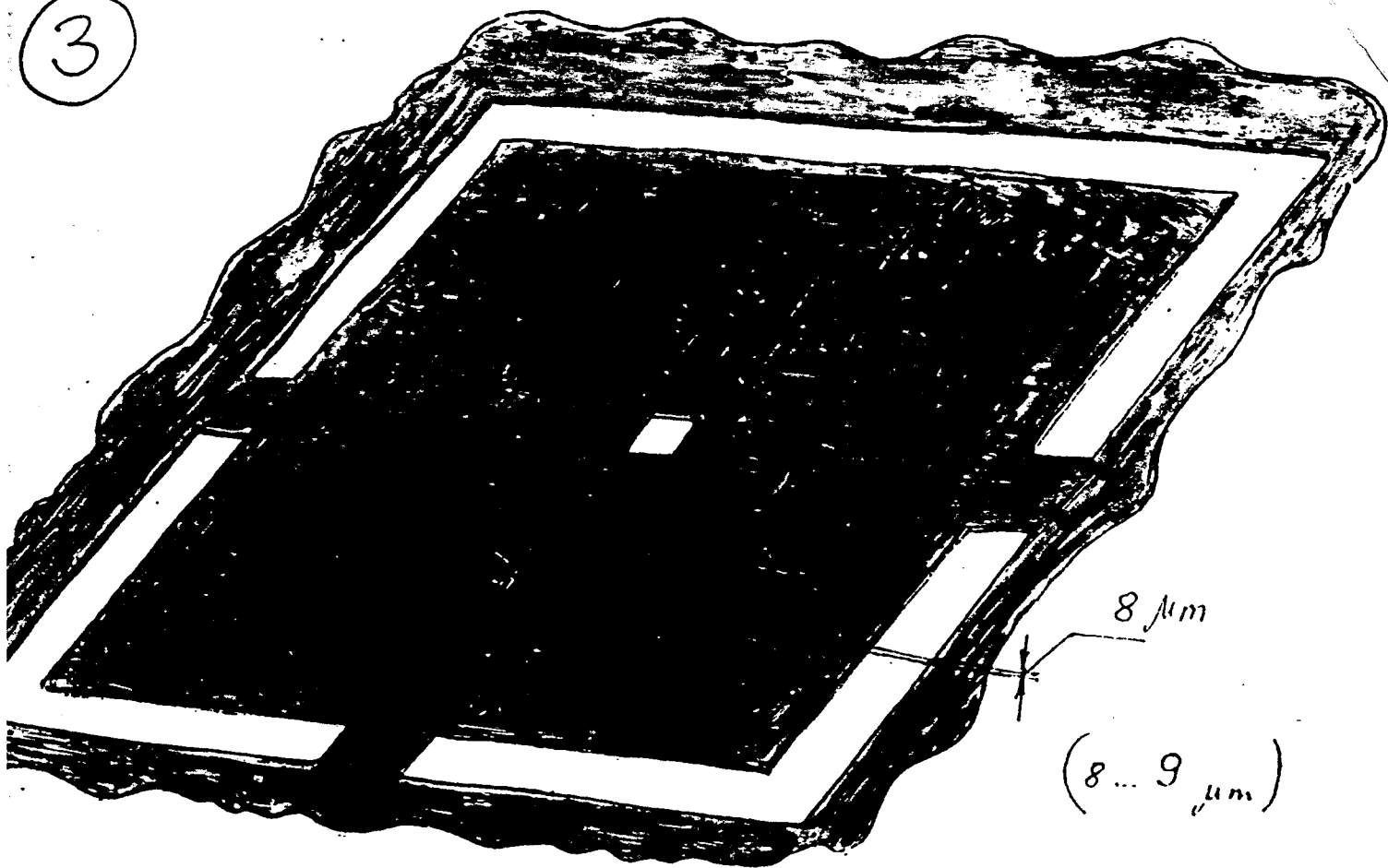
1



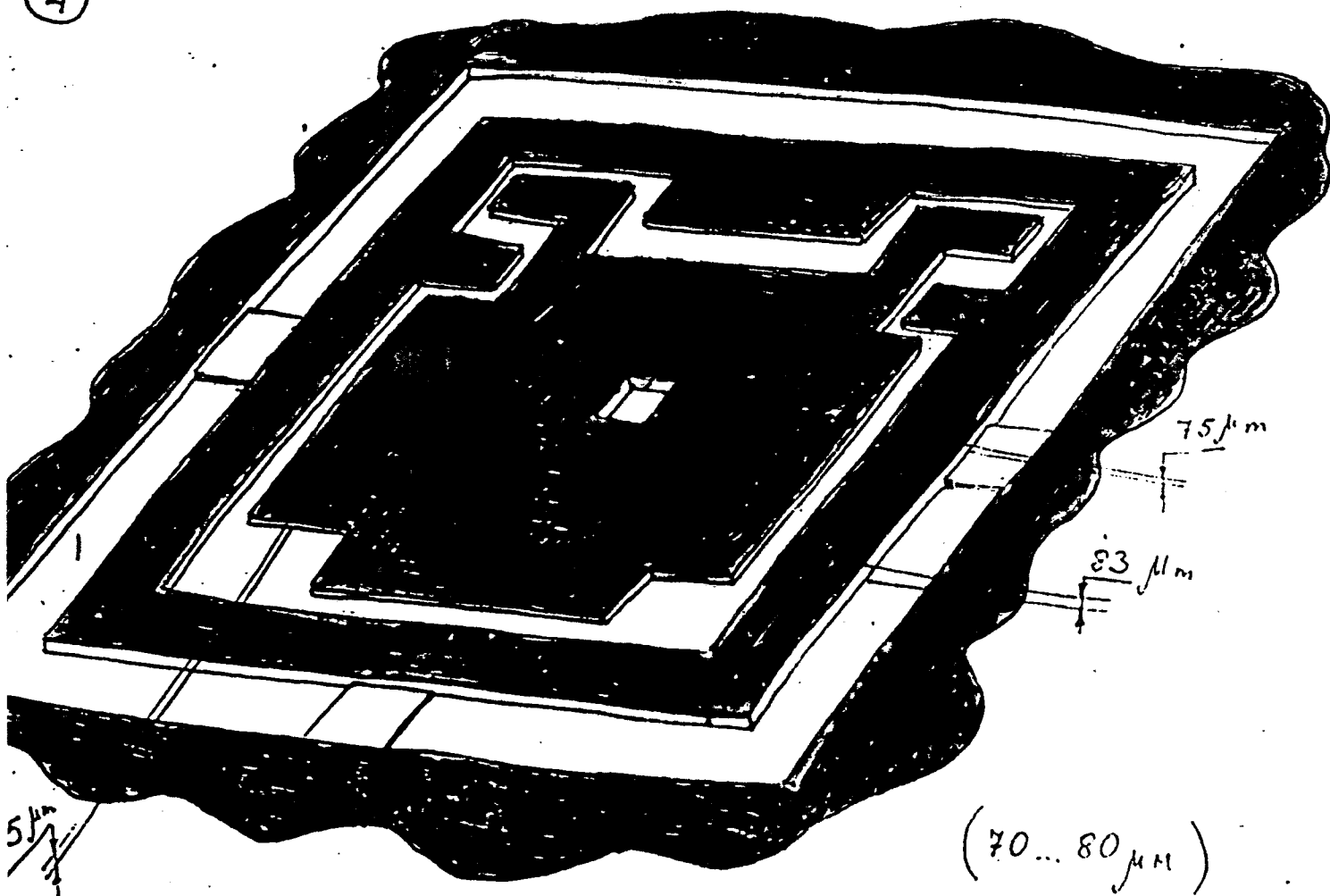
2



3



4

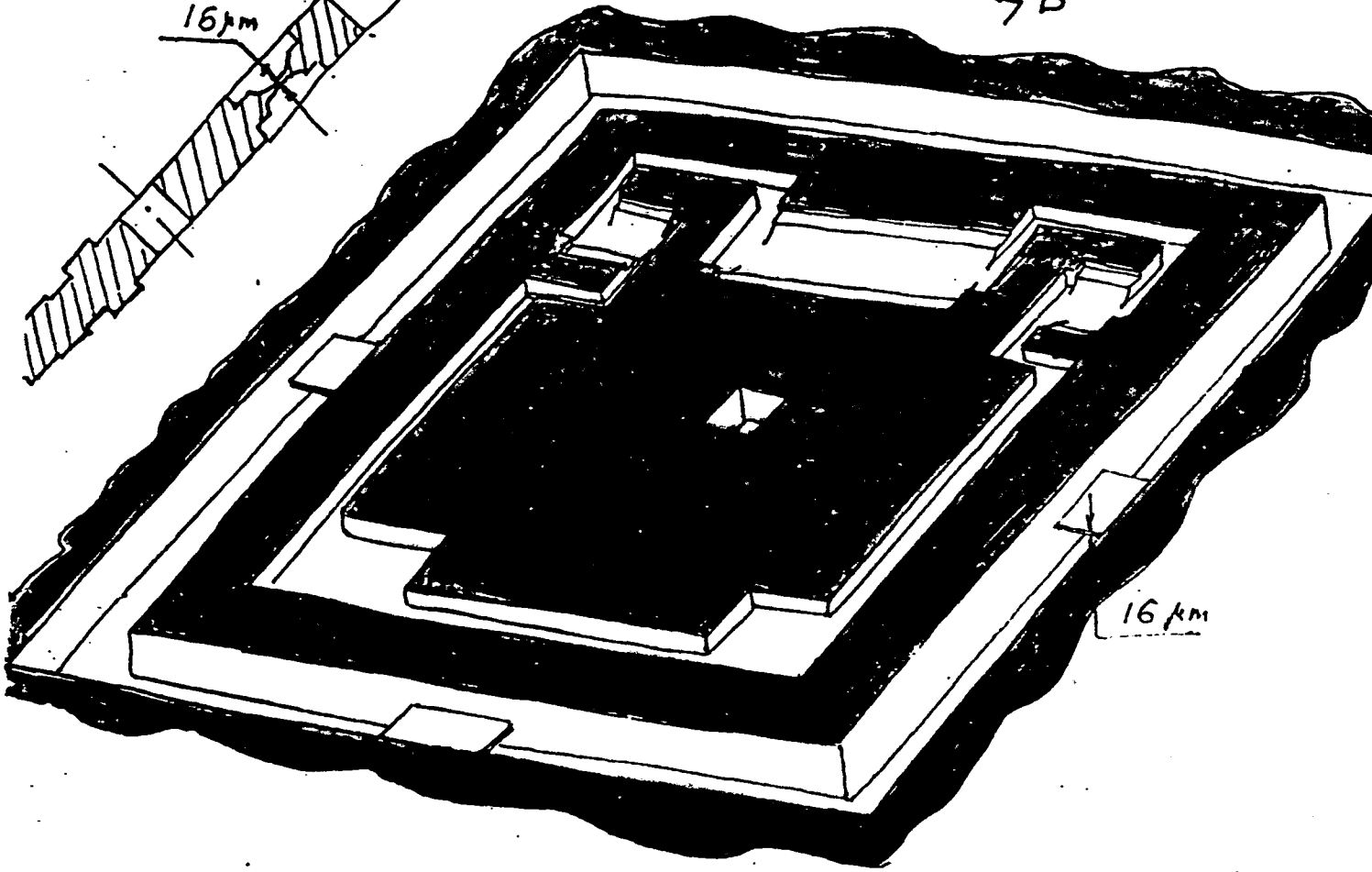


BB

⑤

16 μ m

→ B



16 μ m

