



*Московский инженерно-физический институт
(государственный университет)*

**ФАКУЛЬТЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

**Кафедра №37
«ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА»**

ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Лекция-14



ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ.

Уровень основных операций.

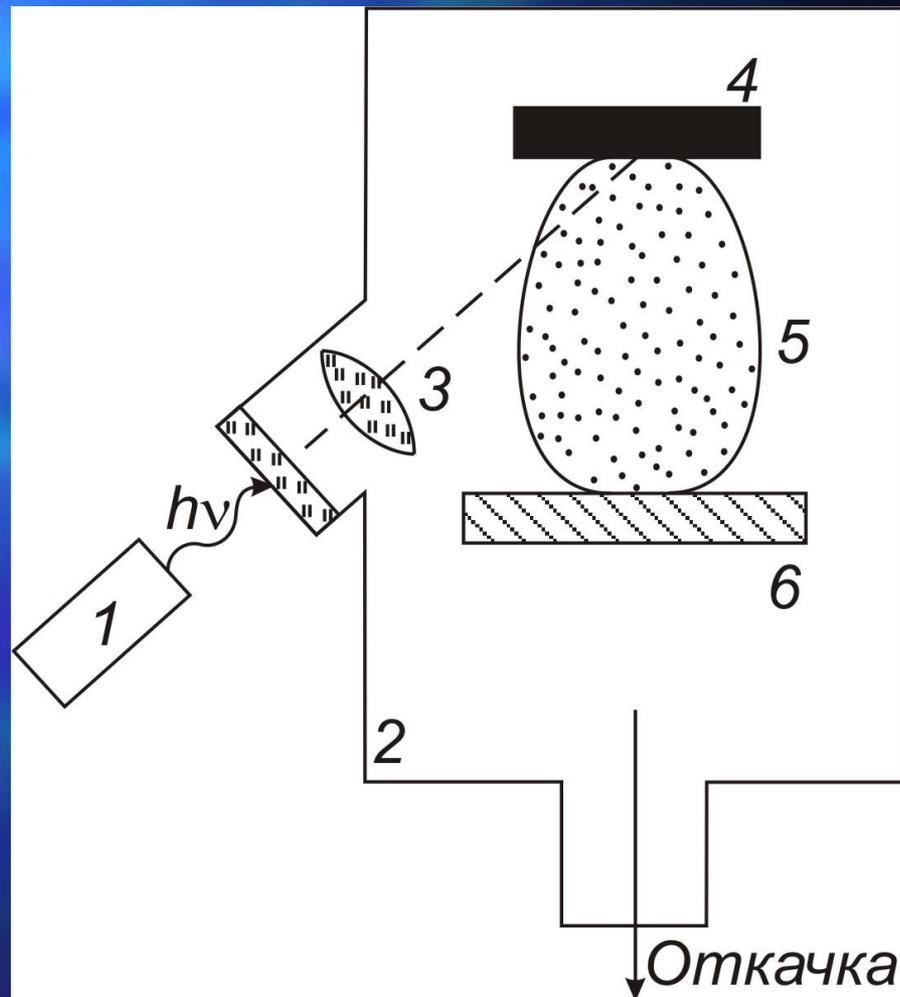
Лазерное осаждение тонких пленок.

Наибольшее развитие как с научной, так и с практической точек зрения получил в микроэлектронике метод лазерного напыления пленок и пленочных структур - лазерная вакуумная эпитаксия (ЛВЭ). Интерес к разработке принципиально новых импульсных методов вакуумной гетероэпитаксии в микроэлектронике возник, в первую очередь, благодаря возрастающей тенденции к совмещению кремниевой и арсенид-галлиевой технологий. Положительные результаты такого совмещения очевидны, например: при замене подложки из GaAs кремниевой подложкой могут быть преодолены проблемы, связанные с чрезвычайной хрупкостью GaAs; поскольку теплопроводность кремния примерно в три раза больше теплопроводности GaAs, при выращивании пленок этого материала на кремниевых подложках возможно создание более мощных арсенид-галлиевых ИС, имеющих более высокую плотность размещения элементов; следует ожидать значительного снижения стоимости полупроводниковых ИС, поскольку тонкие пленки GaAs выращиваются на подложках гораздо большего диаметра, чем диаметр существующих арсенид-галлиевых пластин, а при обработке кремниевых подложек используются целевые и широко распространенные методики; появляется возможность разработки приборов новых типов, сочетающих структуры, изготовленные в слое арсенида галлия, и структуры, расположенные в кремниевой подложке, например, возможность объединения на единой подложке элементов интегральной оптики (на основе GaAs) и элементов микроэлектроники (на основе Si)..

Уровень основных операций.

Лазерное осаждение тонких пленок.

Схема установки для ЛВЭ. Лазерное излучение от импульсного лазера 1 фокусируется линзой 3 на поверхности мишени 4, расположенной в вакуумной камере 2. Пароплазменный поток 5, возникающий в результате испарения мишени, осаждается на поверхности прогреваемой подложки 6, создавая на ней тонкий эпитаксиальный слой



Уровень основных операций.

Лазерное осаждение тонких пленок.

Для получения высококачественных лазерных конденсатов n-GaAs и n-InSb на подложке p-Si плотность потока лазерного излучения должна находиться в интервале $3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$ Вт/см² [61]. Уменьшение плотности потока лазерного излучения приводит к резкому отклонению от стехиометрии в пароплазменном потоке. Увеличение же его до $5 \cdot 10^9$ Вт/см² влечет за собой существенное увеличение дефектности получаемых пленок, как следствие этого, уменьшение подвижности носителей в пленке. Удалось получить гетероструктуры GaAs/Si, InAs/Si и InSb/Si при несоответствии параметров решетки 4, 11 и 18% соответственно.

Высокоэнергетичные ионы из пароплазменного потока осуществляют распыление окисного слоя, создавая в нем окна размером 1-10 нм. На участках очищенной поверхности начинается эпитаксиальный рост полупроводников A_3B_5 . После зарастания окон на поверхности окисной пленки образуется система ориентированных зародышей новой фазы. Рост пленки на этих дискретно расположенных зародышах происходит без образования дислокаций несоответствия, поскольку контакт между пленкой и подложкой имеет место только на части поверхности. При этом выходы столбцов полупроводников A_3B_5 в окнах могут отклоняться на значительные расстояния без существенного напряжения химических связей.

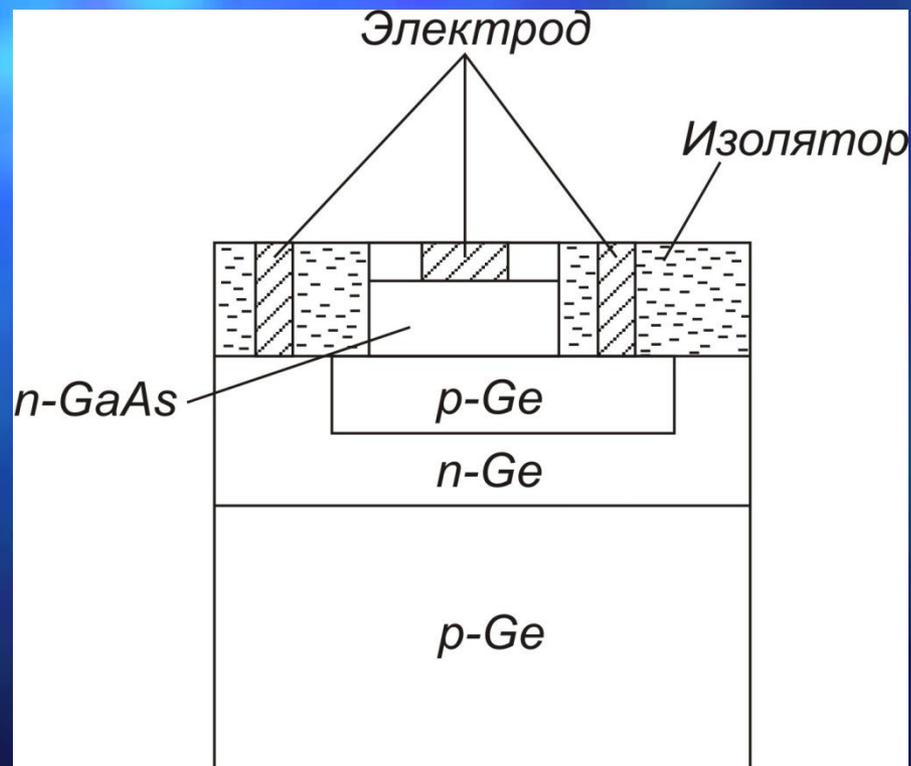
Уровень основных операций.

Лазерное осаждение тонких пленок.

Совмещенная технология GaAs/Si.

На рисунке приведен пример реализации процесса ЛВЭ в конкретном электронном устройстве - пример получения n-p-n транзистора:

1 - пленка A_3B_5 , полученная методом ЛВЭ; 2 - слой p-Si; 3 - слой n-Si; 4 - окисел; 5 - металлические контакты; 6 - подложка p-Si.



Уровень основных операций.

Лазерное осаждение тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ ПЛЕНОК ВТСП

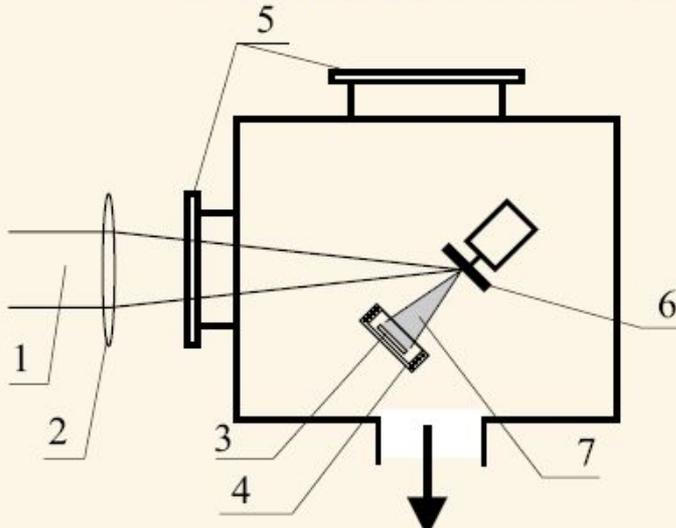
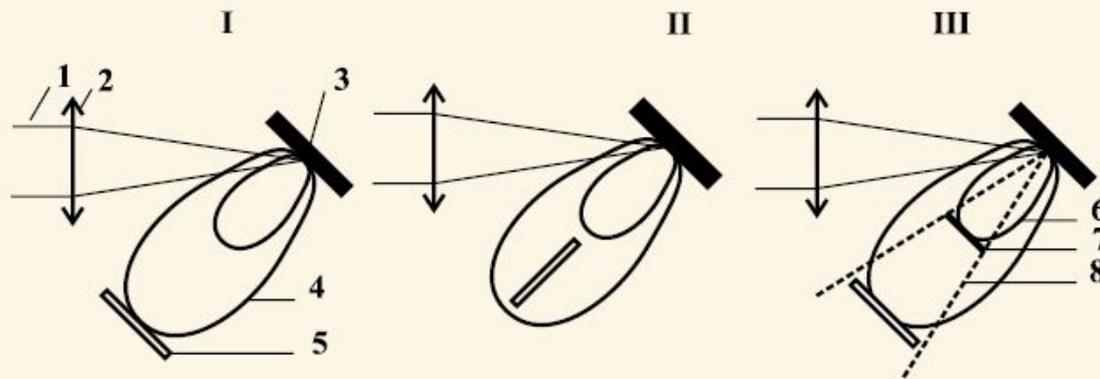


Схема напылительной установки.

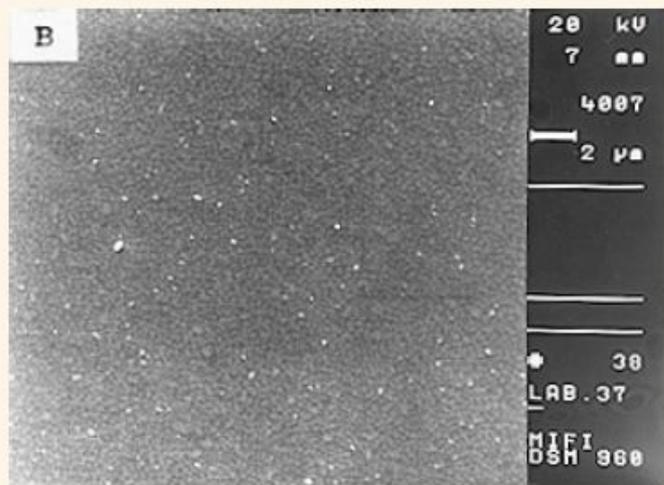
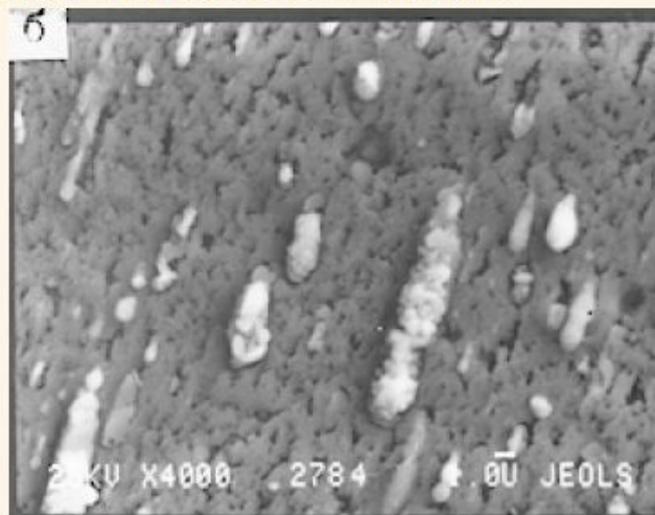
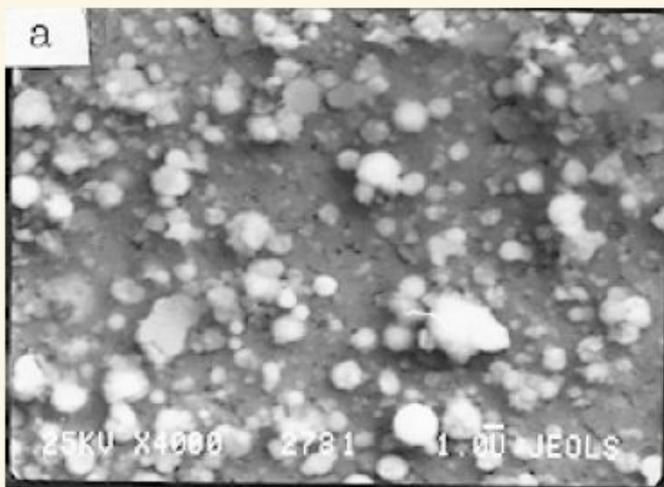
- 1 — лазерный луч; 2 — кварцевая линза; 3 — подложка;
- 4 — нагреватель; 5 — входные окна; 6 — мишень; 7 — эрозионный факел



Уровень основных операций.

Лазерное осаждение тонких ВТСП- пленок .

ПОВЕРХНОСТЬ ПЛЕНОК ВТСП ПРИ ЛАЗЕРНОМ НАПЫЛЕНИИ



Микрофотографии поверхности пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ с 4000-кратным увеличением:

а) — для традиционного варианта напыления (конфигурация I);

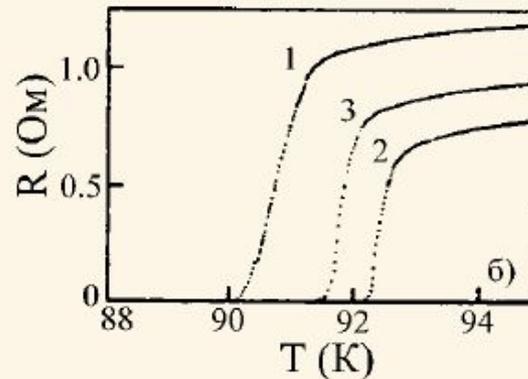
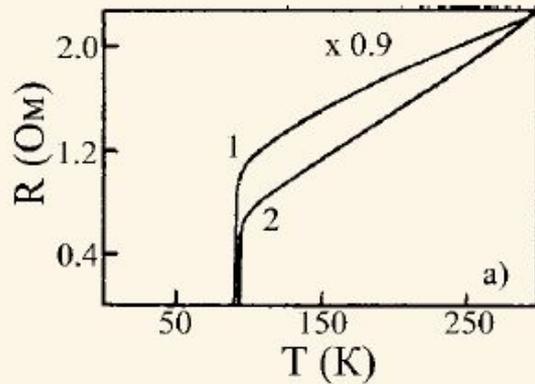
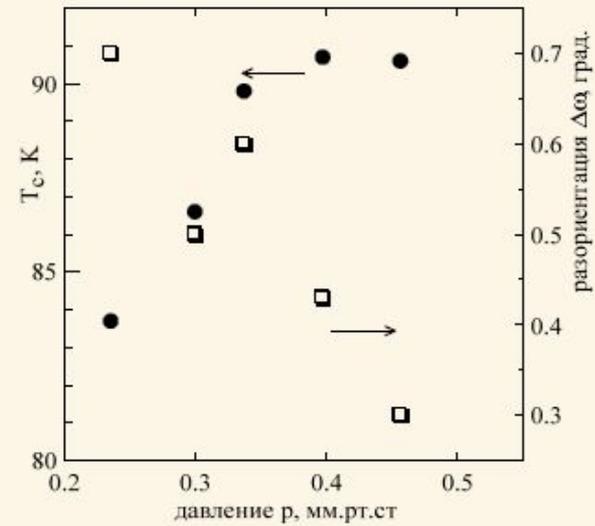
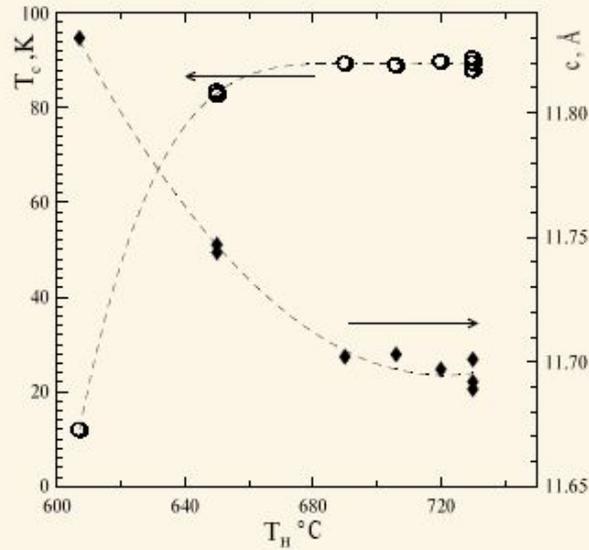
б) — для напыления в конфигурации II;

в) — для напыления с экранированием прямого потока распыленного вещества

Уровень основных операций.

Лазерное осаждение тонких ВТСП- пленок.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПЫЛЕНИЯ



1 — без экрана, подложка SrTiO₃(100); 2 — с экраном, подложка SrTiO₃(100); 3 — с экраном, подложка YSZ(100)

Уровень завершающих операций. Лазерное скрайбирование.

Скрайбирование заключается в нанесении рисок на рабочую поверхность полупроводниковой пластины с готовыми интегральными схемами с целью дальнейшего разделения пластин на кристаллы (чипы). Риски располагают по межсхемным дорожкам в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

В 70-х годах повсеместно в электронной промышленности применяется лазерное скрайбирование. Особенностью лазерного скрайбирования является то, что оно обеспечивает разламывание пластин с перпендикулярными рабочей поверхности боковыми гранями кристаллов. К достоинствам способа лазерного скрайбирования можно отнести высокую производительность при отсутствии сколов. Лазерное скрайбирование обеспечивает качественное разламывание пластин кремния толщиной до 400-450 мкм. Недостатком метода лазерного скрайбирования является разбрызгивание продуктов обработки - частиц испаряемого и расплавленного полупроводникового материала, из-за чего необходима защита рабочей поверхности пластины.

Для лазерного скрайбирования в настоящее время наиболее широко используется частотный АИГ: Nd-лазер с длиной волны излучения 1,06 мкм в режиме модулированной добротности ($t_{и} = 100-500$ нс). При использовании такого режима обработки реализуют ширину риски 25-40 мкм с глубиной 50-100 мкм. Как правило, скорость скрайбирования выбирают в пределах от 100-200 мм/с. Поскольку для эффективной реализации процесса лазерного скрайбирования необходимо равномерно удалить материал в области лазерного воздействия, плотность потока излучения необходимо выбирать в диапазоне $q_c^3 < q < q_c^4$

Уровень завершающих операций. Лазерное скрайбирование.

Серийная установка для лазерного скрайбирования состоит из лазера, оптической системы для фокусировки лазерного излучения и визуального наблюдения за процессом, блоков управления и механизма перемещения рабочего стола, на котором устанавливается полупроводниковая пластина.

Для улучшения данной процедуры используется режим многократного скрайбирования. Для снижения загрязнения рабочей поверхности пластины продуктами лазерного скрайбирования применяется вакуумный отсос и нанесение на рабочую поверхность пластины слоя латекса (водный раствор каучука), поливинилового спирта, поверхностно-активных веществ.

Процесс лазерного скрайбирования определяется набором параметров. Длина волны излучения, мощность излучения, диаметр фокального пятна, частота следования и длительность импульсов являются фиксированными. А скорость скрайбирования, шаг поперечной подачи образца (пластины) и число проходов можно изменять. Выбор последних параметров определяется требуемой глубиной лазерной риски, зависит от толщины пластины и размеров кристаллов (чипов). Пластины диаметром 76 мм и толщиной 380 мкм скрайбируют за два прохода при рабочей скорости стола 120 мм/с. При этом глубина риски должна быть не менее 80 мкм.

Пластины диаметром 100 мм, толщиной 460 мкм скрайбируют при той же скорости, но за три прохода, получая риску глубиной 100 мкм.

Уровень завершающих операций. Маркировка.

В настоящее время существуют два способа лазерной маркировки: сфокусированным пучком и широким пучком через маску. Последний осуществляется CO_2 -лазерами, а маркировка сфокусированным пучком в основном осуществляется АИГ: Nd-лазерами в режиме модуляции добротности или в импульсном режиме, могут использоваться также непрерывные CO_2 -лазеры. При этом формируются символы из последовательности регулярно распределенных или перекрывающихся точек. Для управления лазерным лучом в двух взаимно перпендикулярных направлениях используются электромеханические дефлекторы - зеркала с гальванометрическим приводом. Использование программного управления позволяет изменять параметры сигнала для маркировки.

Автоматическая система с электромеханическими дефлекторами обеспечивает маркировку сложных буквенно-цифровых шрифтов. Производительность этого способа маркировки 1 деталь/с или 6 млн. деталей в год. При таких скоростях маркерный знак может содержать до 40 меток. Типичное поле маркировки $7,5 \div 10 \text{ см}^2$ на рабочем расстоянии $15 \div 30 \text{ см}$, глубина маркировочного знака по стали достигает $0,005\text{-}0,0075 \text{ см}$. При помощи лазеров на АИГ: Nd в режиме модуляции добротности наносится цифро-буквенная информация в виде непрерывных линий, состоящих из перекрывающихся точек.

Импульсными АИГ: Nd-лазерами при частоте 100 Гц осуществляется штриховая маркировка в виде точечных матриц. При растровом сканировании лучом площади до $7,5 \times 7,5 \text{ см}$ компьютер по программе определяет моменты включения лазера. В последнее время разрабатываются универсальные системы для резки и маркировки, пайки и маркировки с использованием до 10 волоконно-оптических кабелей вывода излучения.

Уровень завершающих операций.

Пайка и контроль качества паяных соединений.

Принципиальная схема установки для пайки с контролем и обратной связью изображена на рисунке: 1 - детектор инфракрасного излучения; 2 - предусилитель, 3 - преобразователь информации в цифровую форму, 4 - юстировочное устройство на базе He—Ne-лазера, 5 - АИГ: Nd-лазер, 6 - прерыватель, 7 - компьютер, 8 - координатный стол с сервоприводом, 9 - телевизор, 10 -монитор. Время пайки одного соединения - 50 мкс. С учетом времени на позиционирование луча формируются 10 соединений в 1 с, т.е. обрабатывается от 25000 до 36000 соединений в 1 ч.

