



Институт физики полупроводников СО РАН имени А.В.
Ржанова

Развитие методов и создание оборудования для синтеза и диагностики полупроводниковых наногетероструктур

Пчеляков О.П.

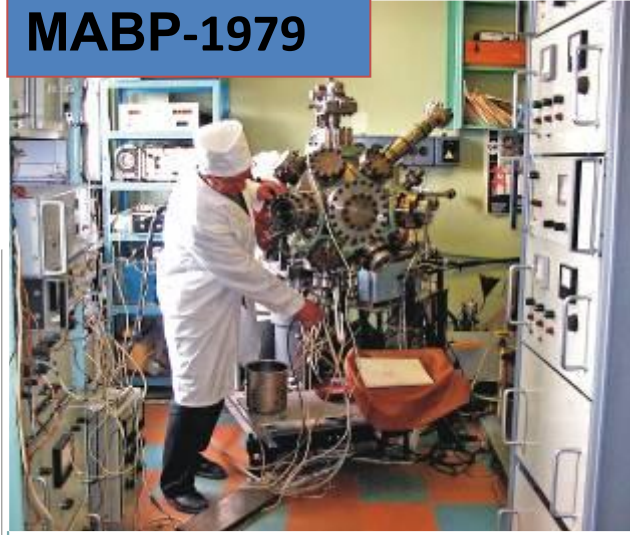
Новосибирск 2009

Начало развитию технологии молекулярно-лучевой эпитаксии в ИФП СО РАН положили два человека, роль которых невозможно переоценить: это академик **А.В. Ржанов** (1920 – 2000г.г.), - первый директор ИФП СО РАН, и профессор **С.И. Стенин** (1940 – 1990г.г.) - основатель Российской школы физики и технологии МЛЭ. Первые установки МЛЭ были изготовлены в ИФП СО РАН в 1979 году. Несмотря на десятилетнее отставание от ведущих индустриальных стран, концентрация интеллектуальных, финансовых и производственных ресурсов, сотрудничество с Ижевским НИИ Электронного вакуумного машиностроения, КТИ ПМ, ИЯФ СО РАН и Опытным заводом СО РАН позволила создать сопоставимую по параметрам многокамерную систему МЛЭ уже в 1992 году. В ней были воплощены оригинальные конструктивные принципы построения технологических машин МЛЭ и оптимизирован набор аналитических методик контроля процессов роста. Общая конфигурация установки включала в себя модуль подготовки и контроля качества подложки, модуль синтеза полупроводниковых гетероструктур, а также модуль для напыления металлических и диэлектрических пленок. Во всех модулях используются автоматизированные системы контроля и управления технологическими процессами. В настоящее время создаются технологические установки для получения наногетероструктур в университетских нанотехнологических центрах, в условиях полёта орбитальных космических аппаратов («ОКА-Т», «МАКС») и на международной космической станции.



Оборудование для молекулярной эпитаксии в ИФП СО РАН

МАВР-1979



Катунь - 2006



Ангара-1984

1989



Катунь Si-Ge

Катунь Si-Ge-GaAs



1999

1991



Катунь A3-B5

Из наиболее важного аналитического оборудования, разработанного и произведенного в ИФП СО РАН, можно выделить следующее:

Система дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭО), позволяющая контролировать структуру и кристаллическое совершенство растущих слоев, а также оценивать скорости роста и состав отдельных слоев.

Эллипсометр для измерения толщин и оптических свойств эпитаксиальных структур, контроля состава и шероховатости пленок, а также температуру подложки непосредственно в процессе роста.

Поляризационный пирометр оригинальной конструкции для бесконтактного контроля температуры ростового процесса.

В течение (1987 – 2009) годов в ИФП СО РАН было изготовлено 39 систем МЛЭ различной конфигурации, в том числе 89 сверхвысоковакуумных камер, более 100 дифрактометров и лазерных эллипсометров.

На изготовленных в институте установках МЛЭ «Катунь», выращиваются гетероструктуры полупроводниковых соединений A^3B^5 , а также A^4B^4 и A^2B^6 для создания диодов Ганна миллиметрового диапазона (28 ГГц), монолитных интегральных схем, матричных инфракрасных фотоприемников на квантовых ямах GaAs – AlGaAs, GaAs – InGaAs – GaAs, для мощных СВЧ-транзисторов (диапазон 2–18 ГГц), лазеров с вертикальным резонатором, кремниевых полевых транзисторов с Ge нанокластерами в канале, фотоприемников ИК-диапазона на базе HgCdTe и GeSi/Si, для фотопреобразователей и для многих других полупроводниковых приборов.

**Автоматизированная
компактная
сверхвысоковакуумная
установка нового поколения
для молекулярно-лучевой
эпитаксии
полупроводниковых
многослойных
гетеросистем и
наноструктур «Катунь 100»**

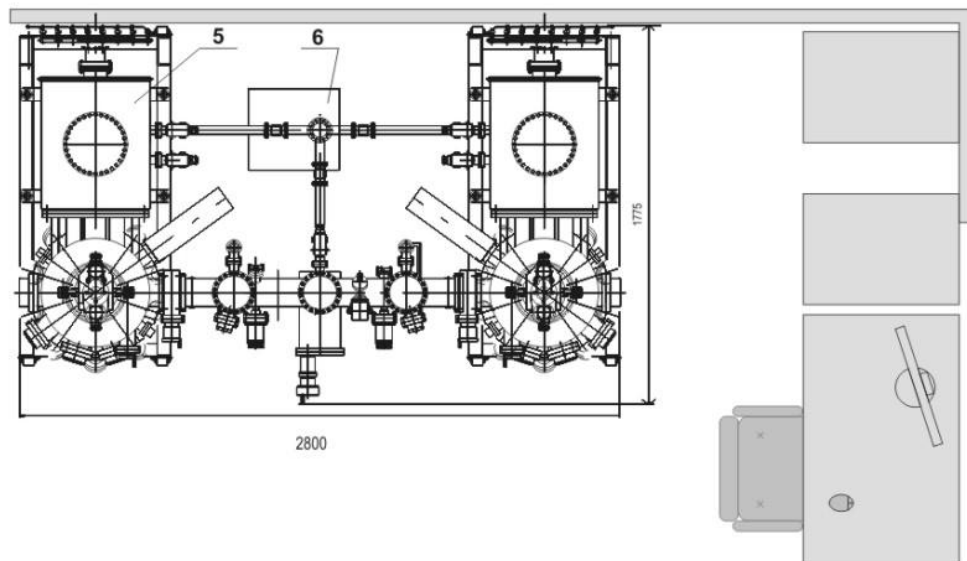


Установка в зависимости от направлений её использования может состоять из нескольких специализированных вакуумных камер: камеры загрузки-выгрузки пластин-подложек с кассетной загрузкой (2 кассеты по 7 пластин диаметром 102 мм); камеры эпитаксиального роста элементарных полупроводников и их твёрдых растворов (Si,Ge), металлических, диэлектрических слоев снабжаются электронно-лучевыми испарителями, газовыми и плазменными источниками молекулярных пучков; камеры для выращивания полупроводниковых соединений A_3B_5 , A_3N и A_2B_6 могут содержать до 12 молекулярных источников, в том числе вентильного типа для сурьмы, фосфора и мышьяка.



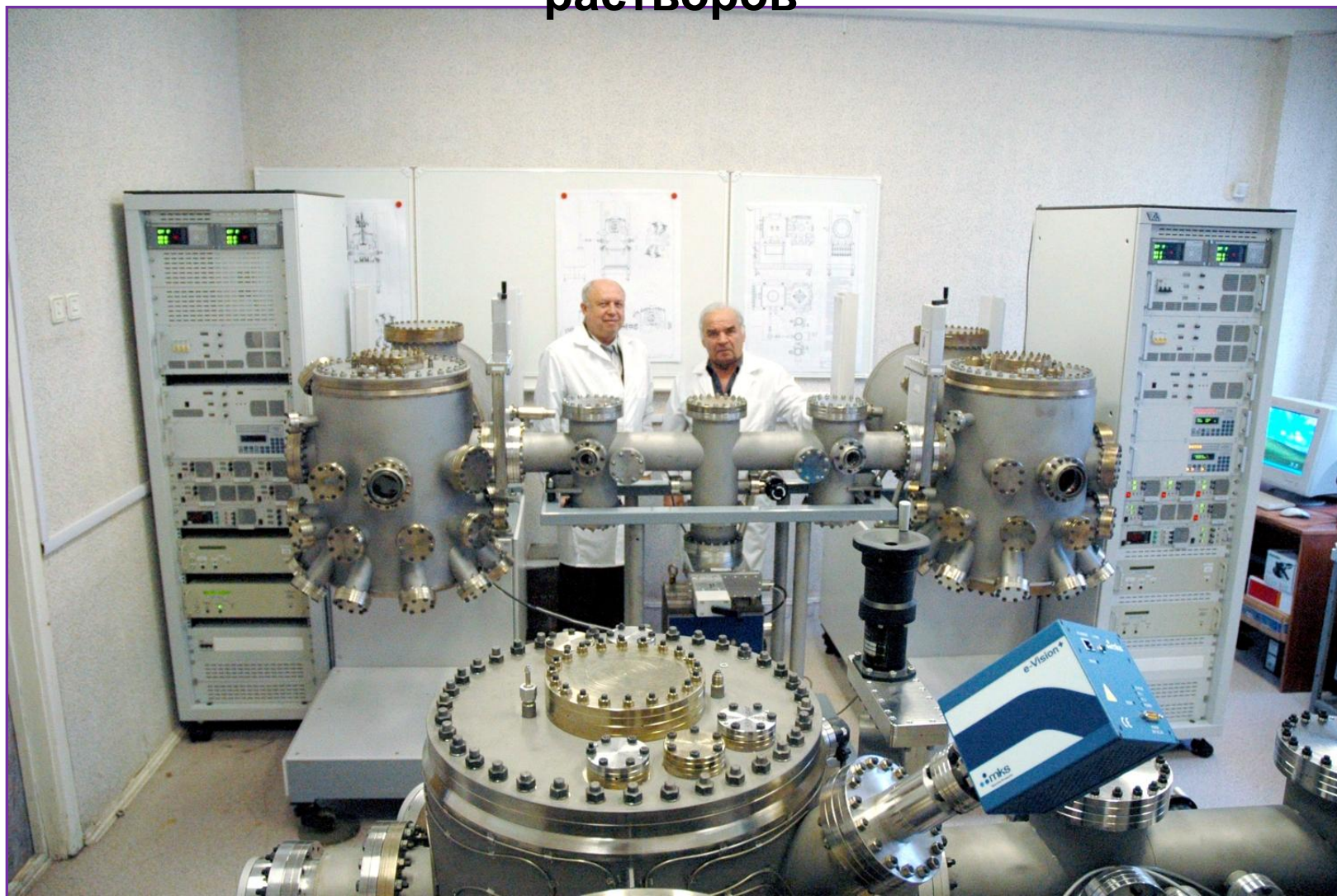


Двухкамерный вариант установки «Катунь 100» для выращивания наногетероструктур



1. Манипулятор пластин-подложек
2. Модуль загрузки-выгрузки
3. Ростовый модуль
4. Система автоматизированного управления
5. Сверхвысоковакуумная система откачки
6. Форвакуумная система

Двухкамерный вариант установки «Катунь 100» для выращивания наногетероструктур на основе соединений АЗВ5, элементарных полупроводников и их твёрдых растворов



Размещение установок «Ангара» и «Катунь» 1982-2009 г.г.



- ★ 4 – камерные – 2 шт. * 8 камер
- ★ 3 – камерные – 17 шт. * 51 камера
- ★ 2 – камерные – 6 шт. * 12 камер
- ★ 1 – камерные – 14 шт. * 14 камер

ИТОГО 39 установок 85 камер

ПРИГЛАШЁННЫЕ ДОКЛАДЫ в 2008 году

1. О.П. Пчеляков. Разработка научных основ молекулярно-лучевой эпитаксии полупроводниковых наноструктур, технологии и аппаратуры для ее реализации в условиях космического пространства. Совещание в Государственной Думе Российской Федерации по инициативе Парламентского центра «Комплексная безопасность отечества», «Выбор основных направлений развития аэрокосмической отрасли. Перспективные направления развития авиационно-космических нанотехнологий" Государственная Дума 15 февраля 2008.
2. О.П. Пчеляков. Проблемы производства наногетероструктур в условиях орбитального полета. Совещание "Проблемы реализации экспериментов по МЛЭ на космическом аппарате "ОКА-Т" Новосибирск, Академгородок, Институт физики полупроводников СО РАН. 19 марта 2008.
3. О.П. Pchelyakov. Molecular Beam Epitaxy of ordered Ge-Si Nanostructures for Applications in Photovoltaic. 3rd Joint China-Russia Workshop on Advanced Semiconductor Materials and Devices, Beijing, China. 26-30 April 2008.
4. О.П. Пчеляков. Технологические, экономические и экологические аспекты производства наногетероструктур в условиях орбитального полета. Российский национальный форум «Промышленные технологии для России» Ассоциация ФПГ России, Экспоцентр «Крокус» г. Москва 21 мая 2008.
5. О.П. Пчеляков. Перспективы производства наногетероструктур в условиях орбитального полета. Международный семинар «Организация наноструктурных исследований в Казахстане и развитие нанотехнологий в рамках международных проектов» Астана, Казахстан, 9 июля 2008 г.
6. О.П. Пчеляков, А.И. Никифоров, Л.В.Соколов. Программа реализации экспериментов на космической установке МЛЭ в сверхглубоком вакууме на обслуживаемом в инфраструктуре МКС автоматическом КА «ОКА-Т». Семинар «Концепции развития космических средств технологического назначения». ЦНИИмаш, г. Королёв октябрь 2008.
7. О.П. Пчеляков, Ю.Б. Болховитянов, Соединения III-V-на-Si: современное состояние исследований и разработок. Международное совещание. «Перспективы полупроводникового материаловедения» Москва. 2008.
8. О.П. Пчеляков. Применение наногетероструктур Ge-Si в фотовольтаике. Международный семинар «Перспективные направления развития нанотехнологий в рамках специальной экономической зоны «Парк информационных технологий» Физико-технический институт, СЭЗ ПИТ, Алматы. Казахстан. 10 июля 2009 г.
9. О.П. Pchelyakov. MBE of Ge-Si Nanostructures for Photovoltaic Indo-Russian Seminar on "Problems of nanoscience and technology" National Physical Laboratory, New Delhi, India 11 – 15 November 2008.

Основные публикации Пчелякова О.П. в 2008 году

1. O.P. Pchelyakov, A.I. Nikiforov, B.Z. Olshanetsky, S.A. Teys, A.I. Yakimov, S.I. Chikichev. MBE growth of ultra small coherent Ge quantum dots in silicon for applications in nanoelectronics. **Journal of Physics and Chemistry of Solids** **69** (2008) 669–672.
2. A.I. Nikiforov, V.V. Ulyanov, S.A. Teys, A.K. Gutakovskiy, O.P. Pchelyakov. The influence of elastic strains on the growth and properties of vertically ordered Ge “hut”- clusters. **Thin Solid Films** **517** (2008) 69–70.
3. А.С. Паршин, Г.А. Александрова, А.Е. Долбак, О.П. Пчеляков, Б.З. Ольшанецкий, С.Г. Овчинников, Г. А. Кущенко. Спектроскопия характеристических потерь энергии отраженных электронов в тонких пленках системы $\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x}$. **Письма в ЖТФ**, т. **34**, № 9, 2008, стр. 41-45.
4. Yu.B. Bolkhovityanov, O.P. Pchelyakov. GaAs epitaxy on Si substrates: modern status of research and engineering. **Physics-Uspekhi** **51** 437 (2008).
5. Ю.Б. Болховитянов, О.П. Пчеляков. Эпитаксия GaAs на кремниевых подложках: современное состояние исследований и разработок. **УФН**, **178**, 459-480 (2008).
6. Yu.B. Bolkhovityanov, A.K. Gutakovskii, A.S. Deryabin, O.P. Pchelyakov and L.V. Sokolov. Potentialities and basic principles of controlling the plastic relaxation of GeSi/Si and Ge/Si films with stepwise variation in the composition. **Semiconductors**, **42**, 1 – 20 (2008).
7. Ю.Б. Болховитянов, А.К. Гутаковский, А.С. Дерябин, О.П. Пчеляков, и Л.В. Соколов. Возможности и основные принципы управления пластической релаксацией пленок GeSi/Si и Ge/Si ступенчато изменяемого состава. **ФТП**, **42**, 3 (2008).
8. A.I. Nikiforov, V.V. Ulyanov, V.A. Timofeev, O.P. Pchelyakov. Wetting-layer formation in superlattices with Ge quantum dots on Si(100). **Microelectronics**. J doi:10.1016/j.mejo.2008.11.014 (2008),
9. Н.Н. Рубцова, О.В. Буганов, А.А. Ковалёв, М.А. Путято, В.В. Преображенский, О.П. Пчеляков, С.А. Тихомиров, Т.С. Шамирзаев « Кинетика отражения в области экситонных переходов в полупроводниковых наноструктурах », **Изв. РАН сер. физ.** т. 72, № 5, с.755-757 (2008)
10. А.А. Ковалёв, В.В. Преображенский, М.А. Путято, О.П. Пчеляков, Н.Н. Рубцова « Отражательный интерферометр для исследования амплитудно-фазовых характеристик полупроводниковых наноструктур », **Изв. РАН сер. физ.** т. 72, № 5, с.771-773 (2008)

ЗНАЧЕНИЕ ЛИЧНОГО ПРНД: (без учёта поправочных коэффициентов) -

451.71