Институт физики полупроводников СО РАН имени А.В. Ржанова

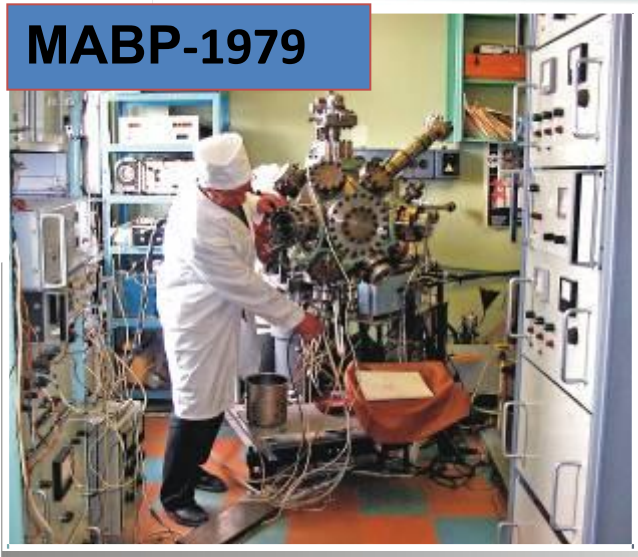
Развитие методов и создание оборудования для синтеза и диагностики полупроводниковых наногетероструктур

Пчеляков О.П.

Новосибирск 2009

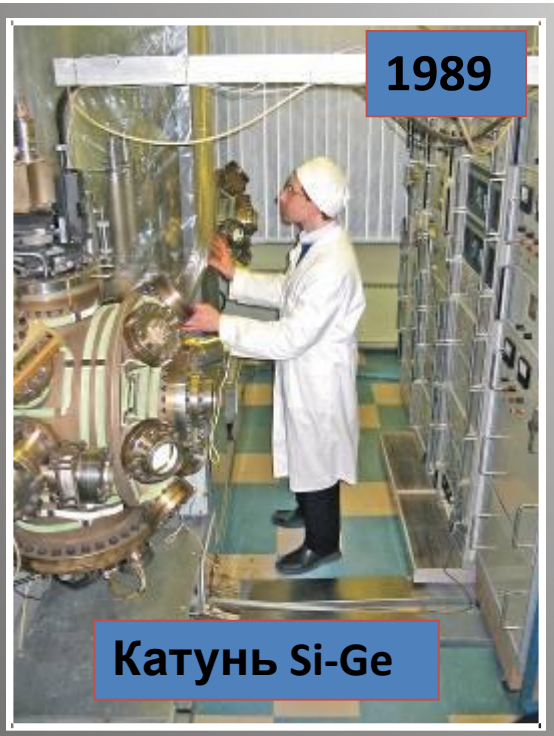
Начало развитию технологии молекулярно-лучевой эптаксии в ИФП СО РАН положили два человека, роль которых невозможно переоценить: это академик **А.В. Ржанов** (1920 – 2000г.г.), - первый директор ИФП СО РАН, и профессор **С.И. Стенин** (1940 – 1990г.г.) - основатель Российской школы физики и технологии 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



Катунь - 2006

Ангара-1984



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.

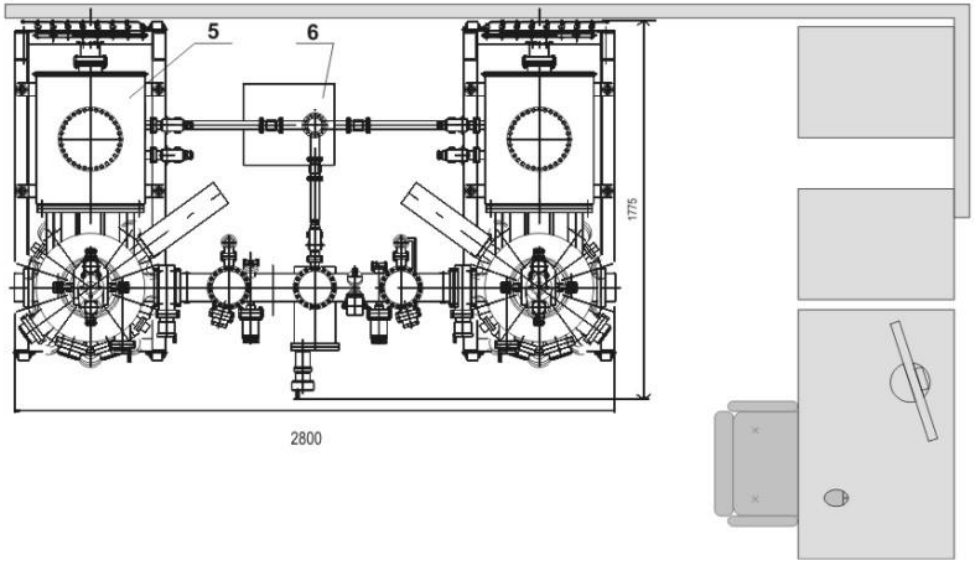
В течение (1987 – 2009) годов в ИФП СО РАН было изготовлено 39 систем МЛЭ различной конфигурации, в том числе 89 сверхвысоковакуумных камер, более 100 дифрактометров и лазерных эллипсометров.

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 A3B5, A3N и A2B6 могут содержать до 12 молекулярных источников, в том числе вентильного типа для сурьмы, фосфора и мышьяка.

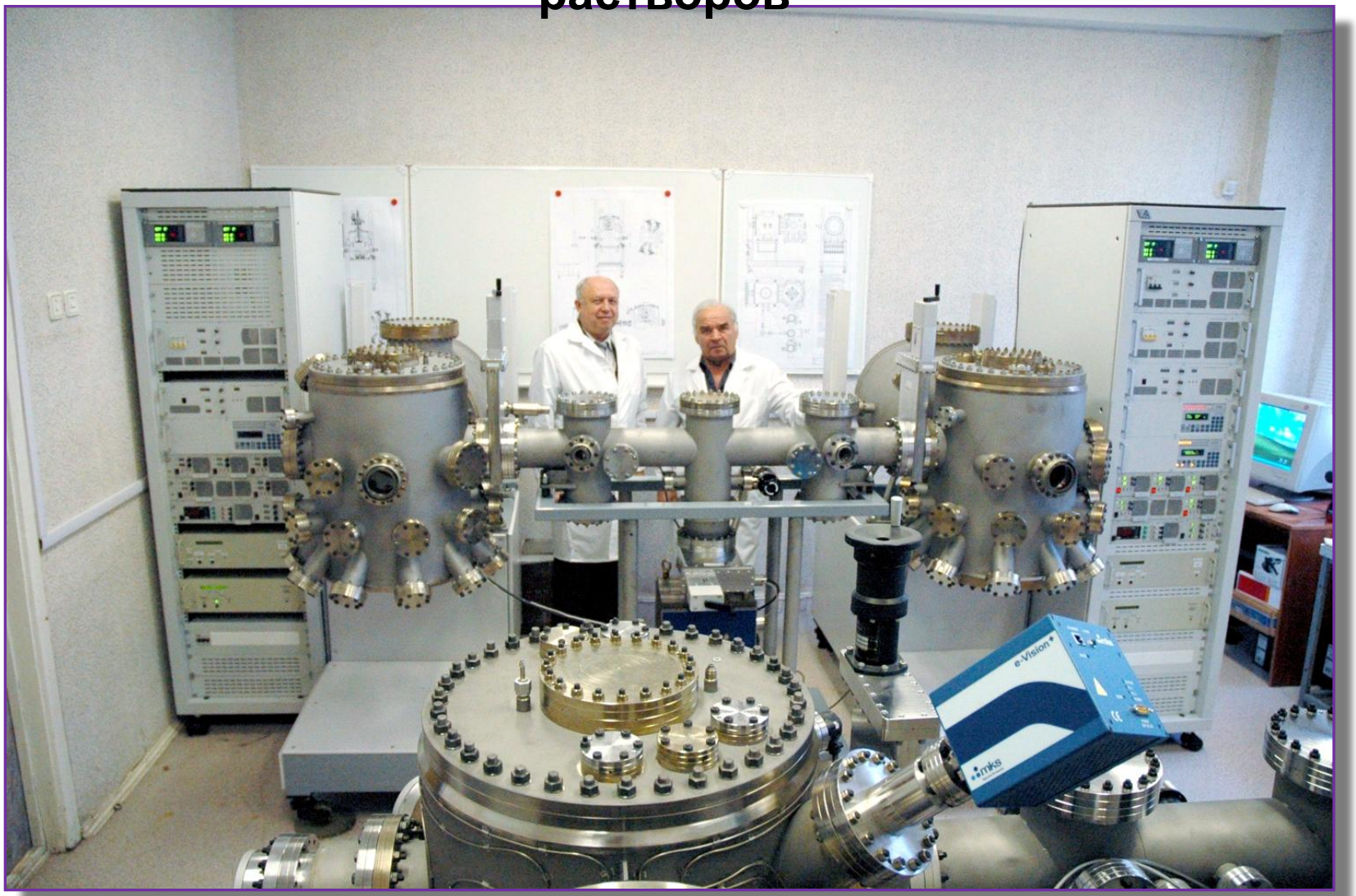
Двухкамерный вариант установки «Катунь 100» для выращивания наногетероструктур



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

КАТУНЬ 100
2х камерая установка МЛЭ

Двухкамерный вариант установки «Катунь 100» для выращивания наногетероструктур на основе соединений А3В5, 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

<u>ИТОГО 39 установок 85 камер</u>

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. O.P. Pchelyakov. Molecular Beam Epitaxy of ordered Ge-Si Nanostructures for Applications in Photovoltaic. 3rd Joint China-Russia Workshop on Advanced Semiconductor Materials and Devices, Bejing, 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. O.P. 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. Gutakovsky, 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. Кущенков. Спектроскопия характеристических потерь энергии отраженных электронов в тонких пленках системы Fe_xSi_{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 insuperlatticeswith 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