ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СИНТЕЗА СВЕРХТОНКИХ ПЛЕНОК ПО ТЕХНОЛОГИИ АТОМНО-СЛОЕВОГО ОСАЖДЕНИЯ EQUIPMENT FOR THIN FILM GROWTH USING ATOMIC LAYER DEPOSITION

А.Веселов*, к.т.н. / alexey.veselov@picosun.com
A.Veselov*, Ph.D.

Технология атомно-слоевого осаждения (АСО) была запатентована в 1974 году в Финляндии доктором Туомо Сунтола. В настоящее время множество компаний производят оборудование, реализующее принципы АСО, но технологическое лидерство принадлежит компании Picosun, в которой Т.Сунтола является идейным вдохновителем и членом совета директоров.

Atomic layer deposition (ALD) was patented in 1974 in Finland by Dr. Tuomo Suntola. Currently many companies are manufacturing equipment that implements the principles of ALD, but technological leadership belongs to the Picosun company, in which T.Suntola is the mastermind and member of the board of directors.

Разработки в области АСО имеют длительную историю, начиная с 1950-х годов, когда впервые данный метод был упомянут в работах проф. В.Б.Алесковского (СССР). В 1974 году технология АСО была запатентована в Финляндии доктором Туомо Сунтолой, длительное время занимавшимся НИОКРами в данном направлении. На сегодняшний день среди множества производителей оборудования для АСО технологическое лидерство принадлежит компании Picosun, в которой Т.Сунтола является идейным вдохновителем и членом совета директоров. Свен Линдфорс, технический директор компании, на протяжении более 40 лет занимается разработками оборудования АСО для различных применений. Огромный опыт научного коллектива в этой области и постоянные усилия по усовершенствованию технологии позволяют Picosun удерживать ведущие позиции. Компания Picosun – пример того, что научные изыскания могут и должны приводить к успеху, когда в практическом применении их результатов заинтересовано множество отраслей промышленности по всему миру.

ТЕХНОЛОГИЯ

В основе АСО лежит принцип самонасыщения, согласно которому атомы или молекулы определенного типа (тип А) реагируют на поверхности

изделий с атомами (молекулами) предыдущего слоя (тип В), равномерно покрывая всю поверхность однородным слоем толщиной порядка ангстрема. После этого избыток частиц типа А и продукты реакции удаляются продувкой азотом или аргоном

Рис.1. СЭМ-изображение однородной пленки АСО, синтезированной на поверхности микростолбика сложной геометрической формы (фото – Fraunhofer IMS, Германия)

Fig.1. SEM-image of a homogeneous ALD film synthesized on the surface of micro-pillar of complex geometric shapes (photo: Fraunhofer IMS, Germany)

* Компания Picosun (Финляндия) / Picosun Oy (Finland)

из камеры, что позволяет предотвратить "паразитные" химические реакции. Молекулы следующего слоя (тип В) реагируют только с молекулами типа А, и также адсорбируются на поверхности одним слоем, после чего вновь производится продувка камеры. Далее цикл повторяется многократно до достижения требуемой толщины пленки. Именно циклический импульсный напуск и удаление рабочих газов является

главным отличием АСО от метода химического осаждения из газовой фазы (ХОГФ). В противоположность АСО, в ХОГФ реакционные газы находятся в рабочей камере одновременно в течение значительного времени (до десятков минут). Самоограничение поверхностных реакций в процессе АСО делает возможным выращивание тонких пленок с управлением осаждения на уровне атомных слоев.

Таблица 1. Сравнение АСО с другими технологиями синтеза пленок

Table 1. Comparison of ALD with other thin film deposition technologies

Параметр Characteristic	АСО ALD	Молекулярно-пучковая эпитаксия Molecular-beam epitaxy	Химическое осаждение из газовой фазы Chemical vapor deposition	Магнетронное напыление Magnetron sputtering	Термическое испарение Thermal evaporation
Однородность толщины Thickness uniformity	Превосходная Excellent	Хорошая Good	Хорошая Good	Приемлемая Satisfactory	Приемлемая Satisfactory
Плотность пленки Film density	Хорошая Good	Хорошая Good	Хорошая Good	Приемлемая Satisfactory	Хорошая Good
Покрывание рельефных ступенек Steps coverage	Полное покрытие Full coverage	Зависит от процесса Depends on the process	Неполное покрытие Incomplete coverage	Неполное покрытие Incomplete coverage	Неполное покрытие Incomplete coverage
Адгезия пленки к изделию Film adhesion	Хорошая Good	Зависит от процесса Depends on the process	Плохая Poor	Плохая Poor	Зависит от процесса Depends on the process
Осаждение при низкой температуре Deposition at low temperature	Зависит от процесса Depends on the process	Зависит от процесса Depends on the process	Зависит от процесса Depends on the process	Зависит от процесса Depends on the process	Зависит от процесса Depends on the process
Скорость осаждения Deposition rate	Зависит от процесса Depends on the process	Хорошая Good	Хорошая Good	Хорошая Good	Хорошая Good
Применение в промышленных масштабах Industrial applicability	Используется Useable	Используется Useable	Используется Useable	Используется Useable	Редко используется Rarely used

Developments in the field of ALD have a long history, starting from 1950-ies, when for the first time this method has been mentioned in the works of professor V.B. Aleskovsky (USSR). In 1974 ALD has been patented in Finland by Dr. Tuomo Suntola, which for a long time was engaged in R&D in this field. Today, among the many manufacturers of ALD equipment the technological leadership belongs

to the Picosun company, in which T. Suntola is the mastermind and member of the board of directors. Technical director, Sven Lindfors has more than 40 years of experience in development of ALD equipment for various applications. The vast experience of the research team in this area and continued efforts to improve the technology allow Picosun to retain that position. Picosun is an example of what scientific research can and

must lead to success, when practical application of their results will benefit many industries around the world.

TECHNOLOGY

The basis of the ALD is the principle of saturation, according to which the atoms or molecules of a certain type (type A) react on processed surface with atoms (molecules) of the previous layer (type B), evenly covering the entire

Рис.2. Примеры применения технологии АСО: кассета с 300-мм пластинами для производства различных изделий микроэлектроники (а), производство светодиодов (b), гибкой печатной электроники (с)

Fig.2. Examples of ALD applications: cassette with 300 mm wafers for the production of various microelectronics products (a), the production of LEDs (b), flexible printed electronics (c)

Температура процесса АСО зависит от материала осаждаемой пленки, и для наиболее часто применяемых на практике процессов нахо-

дится в диапазоне от 200 до 400°C. При использовании плазменной стимуляции во многих случаях удается достичь снижения рабочих температур до значений, близких к комнатным, что особенно важно для изделий, критически чувствительных к нагреву.

Таким образом, технология АСО характеризуется следующими основными достоинствами:

- прецизионным контролем толщины и процесса роста пленок;
- превосходной конформностью и однородностью;
- отсутствием микропор и дефектов;
- превосходной воспроизводимостью роста пленок как от пластины к пластине, так и между кассетами с пластинами;
- относительно низкими температурами процессов.

Обратной стороной неоспоримых достоинств является низкая скорость осаждения. Как следствие, в прикладных задачах толщина получаемых пленок редко превышает 50–100 нм.

Другие методы осаждения тонких пленок, в частности, магнетронное распыление и ХОГФ, не обладают подобной точностью контроля роста (см. табл.1). Кроме того, общим недостатком методов физического осаждения, будь то магнетронное напыление, электронно-лучевое или термическое испарение, является сложность, а в ряде случаев – практическая невозможность получения однородного покрытия на структурах сложной формы. Поток частиц от источника к подложке в этих методах имеет линейную направленность, поэтому, если угол падения относительно нормали поверхности меняется очень значи-

surface with a uniform layer thickness of the order of angstrom. After this, the excess particles of type A and the reaction products are removed by purging with nitrogen or argon from the chamber to prevent parasitic chemical reactions. Molecules of the next layer (type B) react only with molecules of type A, and also are adsorbed on the surface after which the camera is purged again. Then the cycle is repeated many times to achieve the required film thickness. A cyclical gas puffing and freeing is the main difference between ALD and the chemical vapor deposition

(CVD). In contrast to ALD, in CVD reactive gases are located in the working chamber simultaneously for a considerable time (up to tens of minutes). The limitation of the surface reactions in ALD makes it possible to growth thin films with controlled deposition at the level of atomic layers.

The ALD temperature depends on the material of the deposited film, and for the most frequently used in practice processes is in the range from 200 to 400°C. With plasma enhancing in many cases it is possible to reduce operating temperatures up to values close to the room, which is especially

important for products that are critically sensitive to heat.

Thus, ALD has the following main advantages:

- precise control of thickness and of film growth;
- excellent conformability and uniformity;
- the absence of micropores and defects;
- excellent reproducibility of film growth from plate to plate, and between the cassettes with the wafers;
- relatively low temperature of processes.

The reverse side of indisputable advantages is the low deposition

тельно, то некоторые участки оказываются затененными. Примерами таких сложных поверхностей являются МЭМС, некоторые изделия микроэлектроники и 3D-структуры типа TSV (through-silicon via). Именно для их производства технология АСО стала одной из ключевых, поскольку позволяет наносить однородное покрытие на стенки микроканалов со сверхвысоким аспектным отношением (включая ступеньки), в сквозных отверстиях и т.д. (рис.1).

Перечень материалов, которые могут осаждаться с использованием технологии АСО, достаточно широк: диэлектрики (оксиды, нитриды и т.д.); полупроводники (типы A^2B^6 , A^3B^5); тройные соединения ($SrTiO_3$, $BaTiO_3$ и пр.); металлы, включая рутений, медь, серебро, золото, палладий и иридий.

Основные области применения пленок АСО (рис.2):

- различные слои для МЭМС-структур;
- структуры, используемые в производстве полупроводниковых приборов и ИС;
- проводящие слои в TSV-структурах;
- слои для оптических устройств и декоративные покрытия;
- слои, препятствующие механическому износу и химическому воздействию, гидрофобные и гидрофильные покрытия;
- синтез катализаторов и осаждение пленок на наночастицы;
- биосовместимые покрытия;
- пассивация различных материалов (солнечные элементы, защита от потускнения и прочее).

Рис.3. Оборудование PICOSUN R-серии

Fig.3. PICOSUN R-series ALD tool

ОБОРУДОВАНИЕ

Компания Picosun выпускает оборудование АСО как для научных исследований и небольших пилотных производств (R-серия), так и для промышленных применений (R-Pro и P-серия).

R-серия оборудования (рис.3) позволяет получать пленки АСО высочайшего качества с пре-

rate. As a consequence, in practical applications the thickness of the film rarely exceeds 50-100 nm.

Other methods of thin film deposition, in particular magnetron sputtering and CVD, do not allow such precise control of growth (see tab.1). In addition, a common drawback of the physical deposition, whether magnetron sputtering, electron-beam or thermal evaporation, is the complexity, and in some cases practical impossibility of obtaining a uniform coating on structures of complex shape. The particles flow from the source to the substrate in

these methods is linear, so, if the angle of incidence against surface normal changes very much, some areas are shaded. Examples of such complex surfaces are MEMS, some microelectronic devices and TSV-structures (through-silicon via). For their production ALD became one of the key technologies because it allows to grow a uniform film on the walls of micro-grooves with ultra-high aspect ratio (including steps), cutting holes, etc. (fig.1).

The list of materials that can be deposited using ALD is quite wide: dielectrics (oxides, nitrides, etc.); semiconductors (A^2B^6 ,

A^3B^5); ternary compounds ($SrTiO_3$, $BaTiO_3$, etc.); metals, including ruthenium, copper, silver, gold, palladium and iridium.

Main applications of ALD-films (fig.2) are the following:

- different layers for MEMS;
- structures used in manufacturing of semiconductor devices and IC;
- the conductive layers in the TSV structures;
- layers for optical devices and decorative coatings;
- layers, preventing mechanical wear and chemical influences, hydrophobic and hydrophilic coatings;

Рис.4. Оборудование PICOSUN R-серии с интегрированным перчаточным боксом

Fig.4. PICOSUN R-series ALD tool with integrated glove box

Рис.5. Оборудование PICOSUN R-серии с генератором плазмы и вакуумированным загрузочным шлюзом

Fig.5. PICOSUN R-series ALD tool with the plasma generator and the vacuum load lock

восходной однородностью даже на поверхности сложнейших структур с порами и сверхвысоким аспектным отношением, а также на наночастицах и на гибких образцах при рулонной подаче. Высокофункциональные и легкозаменяемые источники реагентов для жидкостных, газообразных и твердых прекурсоров дают возможность напылять пленки различных материалов без постпроцессных частиц на разные подложки, трехмерные объекты и на пластины, имеющие наномасштабные особен-

ности поверхностной геометрии. Оборудование имеет до 12 источников реагентов, комплектуется генераторами озона и плазмы, позволяет обрабатывать как одиночные пластины диаметром от 76 до 200 мм, так и кассеты с пластинами диаметром до 150 мм. Возможны оснащение аналитическим оборудованием, например квадрупольным масс-спектрометром, пьезокварцевым микровзвешивателем и эллипсометром для *in situ* измерений роста пленок, а также интеграция с перчаточными

- synthesis of catalysts and deposition of films on the nanoparticles;
- biocompatible coatings;
- passivation of various materials (solar cells, protection against tarnishing, etc.).

EQUIPMENT

Picosun manufactures ALD equipment for research and small pilot production (R-series) and for industrial applications (R-Pro and P-series).

PICOSUN R-series ALD tools (fig.3) enable the deposition of the highest quality ALD films with excellent uniformity even on the

most challenging through-porous, ultra-high aspect ratio, nanoparticle samples and flexible materials for the roll feed. Highly functional and easily exchangeable precursor sources for liquid, gaseous, and solid chemicals enable particle-free processing of a wide range of materials on wafers, 3D objects, and all nanoscale features. The equipment has up to 12 sources of reagents, is equipped with ozone and plasma generators, and allows processing of from 76 to 200 mm single wafers, and of the cassette with up to 150 mm wafers. The main options are analytical instruments, e.g. quadrupole

mass spectrometer, QCM and ellipsometer for *in situ* measurement of film growth, and also the glove box (fig.4), vacuum load lock (fig.5) and analytical equipment for *in vacuo* measurements, for example, for x-ray spectrometric analysis (fig.6).

Table 2 presents a brief list of films and their characteristics received by the users of PICOSUN R-200 Advanced.

PICOSUN R-series-Pro (fig.7) can be used for both R&D and production of various products. Depending on customer requirements, it can be equipped with 12 sources, including a plasma

Рис.6. Оборудование PICOSUN R-серии, интегрированное с рентгеновским спектрометром Thermo Fisher Scientific для *in vacuo* измерений синтезированных пленок
Fig.5. PICOSUN R-series ALD tool integrated with Thermo Fisher Scientific X-ray spectrometer for *in vacuo* measurements of the films

боксами (рис.4), вакуумированными загрузочными шлюзами (рис.5) и аналитическим оборудованием для *in vacuo* измерений, например, для проведения рентгено-спектрометрического анализа (рис.6).

В табл.2 представлен краткий перечень пленок и их характеристик, полученных пользователями на оборудовании PICOSUN R-200 Advanced.

Таблица 2. Данные пользователей оборудования PICOSUN R-200 Advanced о неоднородности различных пленок для 150 и 200 мм пластин

Table 2. Heterogeneity of the different films for 150 and 200 mm wafers using PICOSUN R-200 Advanced

Материал Material		Неоднородность (1σ), % Heterogeneity (1σ), %
Al ₂ O ₃ (кассета на 25 150-мм пластин) (cassette for 25 150-mm wafers)		0,13
SiO ₂ (кассета на 12 150-мм пластин) (cassette for 12 150-mm wafers)		0,77
TiO ₂		0,28
ZnO		0,94
Ta ₂ O ₅		1,00
HfO ₂		0,47
Pt		3,41
TiN		1,10
Плазменно-стимулированное АСО Plasma-enhanced ALD	Al ₂ O ₃	0,50
	AlN	0,62
	SiO ₂ при низкой температуре at low temperature	1,10
	TiN	2,16
	TiAlN	2,87
	In ₂ O ₃	0,87

generator, and the same set of options, as the R-series tools. In addition, the integration with the other production lines using robotic vacuum manipulators and SMIF-loader is possible.

PICOSUN P-series is developed for industrial production with the use of ALD. P-series allows handling wafer batches up to 450 mm size, to grow films on large three-dimensional objects, to work with large amounts of fine powders, to handle a wide and flexible product in rolls. It is possible to integrate the equipment into the vacuum clusters PICOPLATFORM. Some characteristics of the films obtained

using PICOPLATFORM 300, are presented in table.3.

Industrial ALD system PICOSUN P-300 (fig.8) allows to connect up to 12 reagents and is intended for both single and batch processing of wafers up to 300 mm size. It is possible to equip it with manual or automated manipulator for loading/unloading of heavy parts, semi-automatic cassette loader through the vacuum locks (fig.9), robotic manipulator for automatic loading of wafer in the cassette in the vacuum, with subsequent rotation and loading into a vacuum chamber (fig.10), and SMIF- and FOUP-interfaces. This

equipment can be integrated with other vacuum technological lines and processes.

The data obtained by users of PICOSUN P-300B and R-200 tools for Al₂O₃ ALD films with single loading of two 27 wafers cassettes, of 200 mm size are shown in table.4.

In addition, the range of equipment includes PICOSUN P-1000 tool (fig.11) for ALD on up to 450 mm wafers in the cassette and large three-dimensional objects, as well as on the glass sheets of 400×600 mm size. It is possible to connect up to 12 reagents through 8 separate vacuum inlets. ■

Рис.7. Оборудование PICOPLATFORM R-Pro с двумя реакционными камерами и роботизированным манипулятором Brooks Marathon MX400 для небольших производств
Fig.7. PICOPLATFORM R-Pro ALD tool with two reaction chambers and Brooks Marathon MX400 robotic manipulator

Рис.8. Оборудование PICOSUN P-300B для одновременной обработки от 27 пластин диаметром до 300 мм в кассете
Fig.8. PICOSUN P-300B ALD tool for simultaneous processing of 27 wafers of up to 300 mm size in the cassette

Оборудование PICOSUN серии R-Pro (рис.7) может быть использовано как для проведения НИОКР, так и в производстве различных изделий. В зависимости от требований заказчика, оно может быть оснащено 12 источниками, включая плазменный генератор, и таким же набором аналитических опций, что и модели R-серии. Кроме того, возможна интеграция с другими технологическими линиями посредством роботизированных вакуумных манипуляторов и загрузки с помощью SMIF-портов.

Для промышленного производства с использованием технологии АСО предназначено оборудование PICOSUN P-серии, которое позволяет решать следующие задачи: выполнять одиноч-

ную и кассетную обработку пластин диаметром до 450 мм; формировать пленки на больших трехмерных объектах; работать с большими объемами мелкодисперсных порошков; обрабатывать широкие гибкие изделия в рулонах. Возможна интеграция оборудования в вакуумные кластеры PICOPLATFORM. Некоторые характеристики пленок, полученные на кластерном оборудовании PICOPLATFORM 300, представлены в табл.3.

Промышленное оборудование АСО PICOSUN P-300 (рис.8) обеспечивает возможность подключения до 12 реагентов и предназначено как для одиночной, так и для кассетной обработки пластин диаметром до 300 мм. Возможны комплек-

Таблица 3. Данные, полученные пользователями кластерного оборудования PICOPLATFORM 300 для 300 мм пластин

Table 3. Data of the users of the PICOPLATFORM vacuum cluster tool for 300 mm wafers

Материал Material	Неоднородность (1σ) Heterogeneity (1σ)	Электрические характеристики пленок Electrical characteristics of the films
Al_2O_3	Толщина пленки 0,90% Film thickness of 0.90%	Пробивное напряжение более 8 МВ/см Breakdown voltage of more than 8 MV/cm
HfO_2	Толщина пленки 0,35% Film thickness of 0.35%	Пробивное напряжение более 3,5 МВ/см (зависит от процесса) Breakdown voltage of more than 3.5 MV/cm (depends on process)
ZrOx	Толщина пленки 0,50% Film thickness of 0.50%	Зависят от процесса Depends on process
TiN	Поверхностное сопротивление 2,39% Surface resistance of 2.39%	Поверхностное сопротивление 77,4 Ом/квадрат Surface resistance of 77.4 Ohms/square

Таблица 4. Результаты, полученные пользователями оборудования PICOSUN P-серии для пленок ACO Al_2O_3 для двух кассет по 27 пластин диаметром 200 мм

Table 4. Data obtained by the users of PICOSUN R-series for ALD of Al_2O_3 -films for two cassettes for 27 200 mm wafers

Неоднородность (1σ) толщины пленки на пластине, % Heterogeneity (1σ) of the film thickness on the wafer, %	0,51
Неоднородность (1σ) толщин пленок на всех пластинах в кассете, % Heterogeneity (1σ) of the film thickness on all wafers in a cassette %	0,80
Разброс скорости роста (1σ) между кассетами с пластинами, % Variation in the rate of growth (1σ) between the cassettes with wafers, %	0,18
Пост-процессные частицы на одной пластине (более 70 нм) Post-process particles on a single wafer (70 nm)	1–2
Коэффициент преломления (190 нм) Refractive index (190 nm)	>1,864
Отслоение пленки и образование микроотверстий после травления HF Delamination of the film and formation of pinholes after HF etching	Отсутствуют No
Загрязнение щелочью, атомов/см ² Contamination with alkali, atoms/sq.cm	<0,02·10 ¹⁰
Адгезия Adhesion	Превосходная Excellent
Уменьшение пропускания паров воды и кислорода (для полимерного образца) Decrease in the transmittance of water vapor and oxygen (for polymeric samples)	>3000
Твердость, ГПа Hardness, GPa	8–14
Механическое напряжение (остаточное напряжение относительно Si) при толщине 100 нм, МПа Mechanical stress (residual stress relative to Si) at a thickness of 100 nm, MPa	180
Жесткость (эластичный модуль), ГПа Stiffness (elastic modulus), GPa	140–180
Среднее время между операциями технического обслуживания, мес. Mean time between maintenance operations, months	>6
Коэффициент непрерывной работы Ratio of continuous work	>0,9

тация механическим или автоматизированным манипулятором для загрузки/выгрузки тяжелых деталей, системой полуавтоматической загрузки кассеты с пластинами через вакуумированные шлюзы (рис.9), автоматической системой одиночной загрузки пластин в кассету в вакууме роботизированным манипулятором с последующим ее поворотом и погрузкой в вакуумную камеру ACO (рис.10), а также подключение SMIF и FOUP портов. Оборудование интегрируется с другими вакуумными технологическими линиями и процессами.

Результаты, полученные пользователями PICOSUN P-300B и R-200 для пленок ACO Al_2O_3 при одиночной загрузке двух кассет по 27 пластин диаметром 200 мм приведены в табл.4.

Кроме того, в линейке оборудования Picosun имеется установка ACO PICOSUN P-1000 (рис.11), предназначенная для нанесения пленок ACO на пластины диаметром до 450 мм в кассете и боль-

Рис.9. Оборудование PICOSUN P-300 с полуавтоматическим загрузчиком кассеты с пластинами через загрузочные шлюзы, установленное в чистом помещении

Fig.9. PICOSUN P-300 ALD tool with semi-automatic cassette loader through the locks, installed in the clean room

СЕМИНАРЫ ИНСТИТУТОВ FRAUNHOFER В ЗЕЛЕНОГРАДЕ

SEMINARS OF FRAUNHOFER INSTITUTES AT THE ZELENograd

23 и 24 ноября в кластере "Зеленоград" состоятся однодневные международные научно-технические семинары "Сборка 3D, в том числе МЭМС-компонентов, как средство микроминиатюризации электронной техники" и "Технология 3D-интеграции микроэлектронных устройств как средство микроминиатюризации электронной аппаратуры", организованные "Корпорацией развития Зеленограда" при финансовой поддержке Правительства г. Москвы.

Семинар "Сборка 3D, в том числе МЭМС-компонентов, как средство микроминиатюризации электронной техники" проведут 23 ноября специалисты института Fraunhofer ENAS (Германия), ведущего центра в области исследований и разработки интеграции интеллектуальных систем с помощью микро- и нанотехнологий. В рамках семинара будут рассмотрены особенности корпусирования МЭМС с 3D-компонентами, первый уровень корпусирования МЭМС с 3D-компонентами, технология нанопечати для структурирования МЭМС, а также применения МЭМС.

Семинар: "Технология 3D-интеграции микроэлектронных устройств как средство микроминиатюризации электронной аппаратуры" проведут 24 ноября специалисты института Fraunhofer IZM/ASSID, мирового лидера в области разработки и практического освоения микроэлектронных 3D-технологий. В рамках семинара будут рассмотрены особенности проектирования систем с 3D-интеграцией, ключевые процессы интеграции, включая TSV, формирование межсоединений, досборочные операции и сборка, а также метрология.

Мероприятия адресованы техническим специалистам предприятий, работающим в области разработки, проектирования и сборки микроэлектронных устройств. Участники семинаров получат сертификаты институтов Fraunhofer ENAS и Fraunhofer IZM/ASSID.

Ознакомиться с условиями участия и оставить заявку можно на сайте www.technounity.ru

On 23 and 24 November at the Zelenograd innovation cluster will be held a one-day international scientific-technical seminars

The speakers at the seminar "3D assembly, including assembly of MEMS, for microminiaturization of electronic devices" on November 23, will be the scientists from Fraunhofer ENAS (Germany). The main topics will be the packaging of MEMS with 3D components, the first-level packaging of MEMS with 3D components, nanoimprinting and applications of MEMS.

The speakers at the seminar "3D integration of microelectronic devices for microminiaturization of electronic equipment" on November 24, will be the scientists from Fraunhofer IZM/ASSIDs. The main topics will be design features of the systems with 3D integration, the key integration processes including TSV, forming interconnections, preassembly and assembly, metrology.

The terms of participation are available on the website www.technounity.ru

Рис.10. Оборудование PICOSUN P-300 Pro с механизмом вращения кассеты, совместимое с SEMI для 200 мм пластин (для наглядности не показан роботизированный манипулятор, подключаемый к шлюзу справа)

Fig.10. PICOSUN P-300 Pro ALD tool with the mechanism of rotation of the cassette, compatible with SEMI for 200 mm wafers (for clarity, the robotic arm connected to the gateway on the right is not shown)

Рис.11. Оборудование PICOSUN P-1000 для промышленного напыления пленок АСО на большие объемы изделий

Fig.11. PICOSUN P-1000 industrial ALD tool for large volumes of production

шие трехмерные объекты, а также листы стекла 400×600 мм. Имеется возможность подключения до 12 реагентов посредством восьми отдельных вакуумных вводов.