

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОБУЧЕНИЕ В ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ ИНТЕРНЕТ ТЕХНОЛОГИИ ИМС

*М.Н. Найбук*

*Университет в Белостоке, Белосток, Польша, najbuk@gmail.com*

Abstract. At the Department of Mathematics and Computer Science of the University of Bialystok (Poland) and Department of Micro- and Nanoelectronics of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Belarus) and Department of Computing Technologies and Informatics of the Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" (Federation of Russia) investigations are carried out for the development of methods and software both for learning, and for design of microelectronic technology via Internet/Intranet network. The presented system "e-rudio" (<http://kim.uwb.edu.pl>) and module created by authors software-hardware complex allows to realize learning and design in sphere of IC technology both at local (Intranet) and global (Internet) network.

**ВВЕДЕНИЕ.** Благодаря прогрессу в области информационных технологий и постоянно растущему числу пользователей глобальной сети Интернет, обучение в режиме on-line как разновидность дистанционного образования (е-образование) становится все более и более популярным [1]. Современные информационные технологии предоставляют новые возможности для повышения эффективности обучения [2] в такой наукоемкой сфере человеческой деятельности как микроэлектроника, включая проектирование новых изделий и их изготовление. Использование Интернет-обучения снижает финансовые затраты, а также позволяет получать образование в удобное время и в удобном для каждого человека темпе. Эти преимущества играют важную роль при выборе формы образования в условиях нынешнего широкого рынка образовательных услуг.

Важнейшим элементом системы обучения в сети Интернет является соответствующий программный модуль, отвечающий за управление и организацию е-обучения. Наиболее известными и популярными среди них являются ATutor, Moodle и ILIAS [3].

ATutor (платформа: сервер Apache, язык программирования PHP, база данных MySQL) – перспективная система, отличительными чертами которой являются качественная документация и простота инсталляции. Установка системы в локальной сети осуществляется с помощью созданного разработчиками ATutor инструментария – ATutor translation tools™. Система имеет модульную структуру (например, имеется модуль для обучения людей с ограниченными физическими возможностями) и легко расширяется.

Moodle (платформа: Apache, PHP, MySQL/PostgreSQL) – самая известная из некоммерческих систем управления обучением. Эту систему отличает дружелюбный пользовательский интерфейс и высокая адаптивность. Система отлично документирована, имеет мощные средства разграничения доступа и администрирования, поддерживает интерфейс на 45 языках.

ILIAS (платформа: Apache, PHP, MySQL) – система управления учебными курсами. Пользовательский интерфейс системы использует метафору рабочего стола. Система широко распространена в Европе и Китае.

В Софийском техническом университете (Болгария) разработана Web-система, предназначенная для оперативного и максимально объективного анализа взаимосвязи между активностью студента в процессе обучения и уровнем освоения им знаний. Эта система разработана с использованием Web-сервера Apache, скриптового языка PHP и базы данных PostgreSQL. В среде системы возможно:

- получить доступ к электронным документам по изучаемой дисциплине (лекции, ppt-презентации, задания на выполнение лабораторных работ, контрольные вопросы и пр.);

- собрать и обработать статистическую информацию о текущей успеваемости и индивидуальной работе в процессе обучения каждого студента;

- по разработанной методике оценить уровень успеваемости студентов;

- по выбранным критериям установить связь между активностью студентов и их успеваемостью;

- организовать форум в Интернете для обсуждения вопросов, связанных с освоением тех или иных проблем в рамках изучаемой дисциплины.

В Республике Беларусь среди систем, обеспечивающих управление и организацию е-обучения, можно отметить комплекс eUniversity [4]. Этот комплекс создавался с учетом административной и учебной структур вузов Республики Беларусь. Платформа комплекса eUniversity: Apache, JSP, Java Servlet, MySQL. Система eUniversity предназначена для решения следующих задач:

- организация обучения, консультирования и тестирования неограниченного числа слушателей в сети Интернет посредством сочетания традиционных педагогических методов с новейшими коммуникационными и мультимедийными технологиями;

- взаимодействие преподавателей и учащихся в удобное для каждого время;

- осуществление тестирования и автоматической оценки знаний;

- контроль организации обучения и его эффективности;

- обучение и тестирование квалификационных знаний персонала и соискателей на вакансионное рабочее место;

- поддержка концепции непрерывного образования и повышения квалификации;

- эффективное взаимодействие удаленных филиалов (корпоративное образование).

Архитектура комплекса eUniversity соответствует спецификациям по стандартизации образовательной деятельности (IMS, модель LTSA). Для ее функционирования не требуется закупки и установки лицензионных программных продуктов.

Однако наряду с несомненными достоинствами рассмотренных систем всех их объединяет существенный недостаток, заключающийся в отсутствии возможности проведения процессов моделирования в глобальной сети Интернет в режиме on-line и визуализации результатов моделирования в виде графиков. Одним из актуальных аспектов применения такой системы является проектирование интегральных микросхем (ИМС) и обучение работы в среде современных средств проектирования, в частности, программных пакетов проектирования технологии изготовления ИМС. Описываемый в работе обучающий модуль GUI (Graphical User Interface)-SUPREM III [5-7] совместно с разработанным авторами программно-аппаратным комплексом позволяет осуществлять моделирование и обучение в сфере технологии ИМС как в локальной (Intranet), так и в глобальной сети Internet [8-11].

**СОБСТВЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ.** Программный модуль GUI-SUPREM III базируется на бесплатном дистрибутиве Linux Slax [12] и свободно распространяемом программном пакете для моделирования технологии изготовления интегральных микросхем SUPREM III [7, 13-15]. SUPREM III является аналогом коммерческой программы Suprem3, стоимость которой составляет более сотни тысяч долларов. Suprem3 входит в состав модуля проектирования технологии ИМС ATHENA компании Silvaco – лидере среди

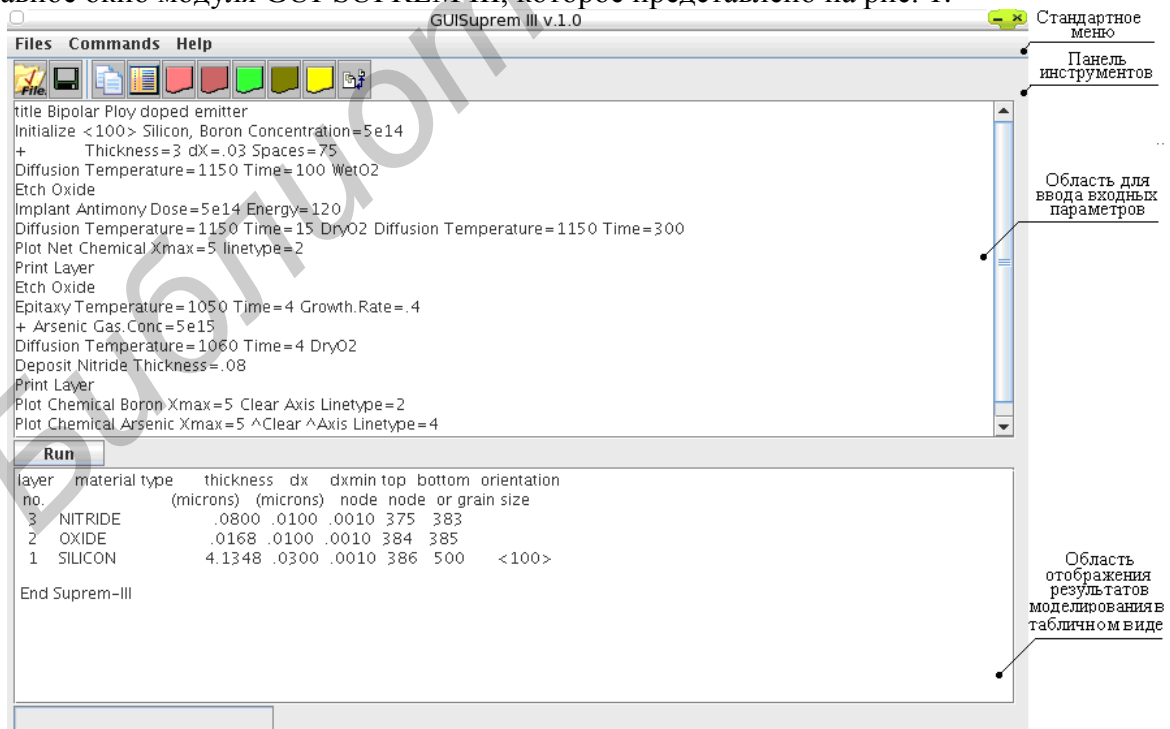
разработчиков современных программных средств проектирования в микроэлектронике.

Программный комплекс SUPREM III предназначен для одномерного по пространству физического моделирования отдельных операций и технологического маршрута изготовления кремниевых приборов микроэлектроники. Программа SUPREM III позволяет осуществлять физическое моделирование базовых технологических операций, включая диффузионное и имплантационное легирование, диффузионное перераспределение примесей, окисление, эпитаксию, травление. Результатом моделирования технологии ИМС в среде модуля GUI-SUPREM III является геометрия структуры прибора.

Модуль GUI-SUPREM III может использоваться как для обучения и полноценного ознакомления с современными системами компьютерного проектирования технологий в микроэлектронике, так и для проведения реального моделирования и проектирования технологического маршрута изготовления ИМС в сети Интернет. Важной особенностью модуля является совместимость формата его выходного файла с форматом входного файла программы PISCES, предназначенной для моделирования электрических характеристик прибора, что позволяет проводить замкнутый цикл моделирования технологии/прибора.

Используемый дистрибутив Linux Slax LiveCD не требует инсталляции на жесткий диск, загружается со сменных носителей, таких как USB диск или компакт-диск. Дистрибутив функционирует в оперативной памяти компьютера (то есть он загружается в память компьютера и освобождает носитель, с которого был загружен). Преимуществом дистрибутива Slax является также модульность его структуры, что позволяет легко модифицировать дистрибутивы под конкретные нужды пользователя.

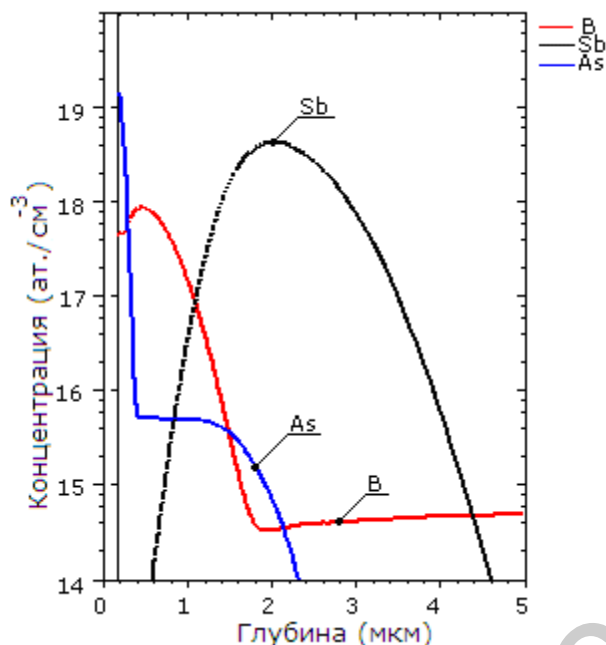
Стандартный запуск модуля GUI-SUPREM III осуществляется с использованием самозагрузочного компакт-диска Linux Slax LiveCD. В результате загрузки дистрибутива в память компьютера и ввода системного логина и пароля, открывается главное окно модуля GUI-SUPREM III, которое представлено на рис. 1.



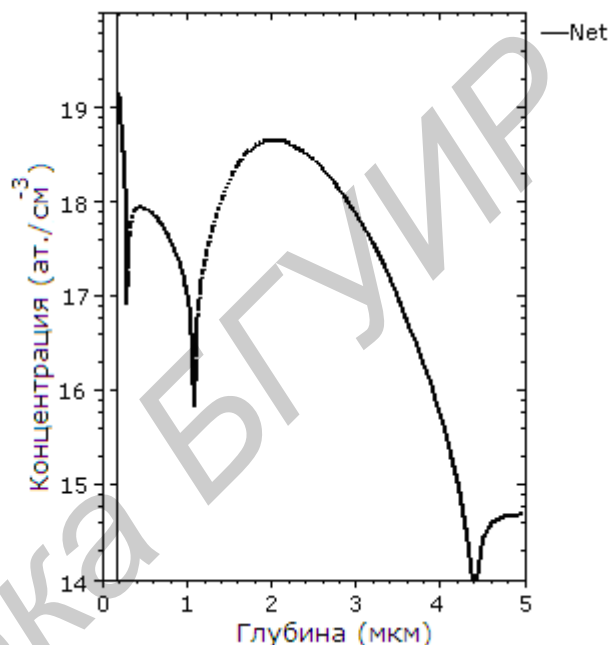
**Рисунок 1 – Главное окно модуля GUI-SUPREM III**

Главное окно модуля GUI-SUPREM III (рис. 1) состоит из стандартного меню, панели инструментов, области для ввода входных параметров в файле задания на моделирование и области отображения результатов моделирования в табличном виде.

На рисунках 2 и 3 в качестве примера представлены профили распределения концентраций примесей (сурьмы Sb, мышьяка As и бора B) в структуре n-p-n биполярного транзистора, технологический маршрут формирования которого рассчитывается с использованием модуля GUI-SUPREM III.



**Рисунок 2** – Профили распределения примесей (бор, сурьма, мышьяк) по глубине подложки в конце технологического маршрута формирования биполярного транзистора



**Рисунок 3** – Суммарный профиль распределения примесей в структуре биполярного транзистора

**РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРНЕТ ДОСТУПА К МОДУЛЮ.** Существенной проблемой, особенно в области микроэлектроники, является высокая стоимость и, как следствие, недоступность современного программного обеспечения для проектирования ИМС. Так, общая стоимость программного обеспечения для проектирования ИМС на мировом рынке в 2005 составляла около 800 миллионов долларов, и она постоянно возрастает с темпом порядка 8% в год. Отсутствие возможности изучать и использовать современные, полнофункциональные средства проектирования ИМС ощутимо сказывается, в частности, на уровне подготовки и повышения квалификации специалистов-разработчиков ИМС.

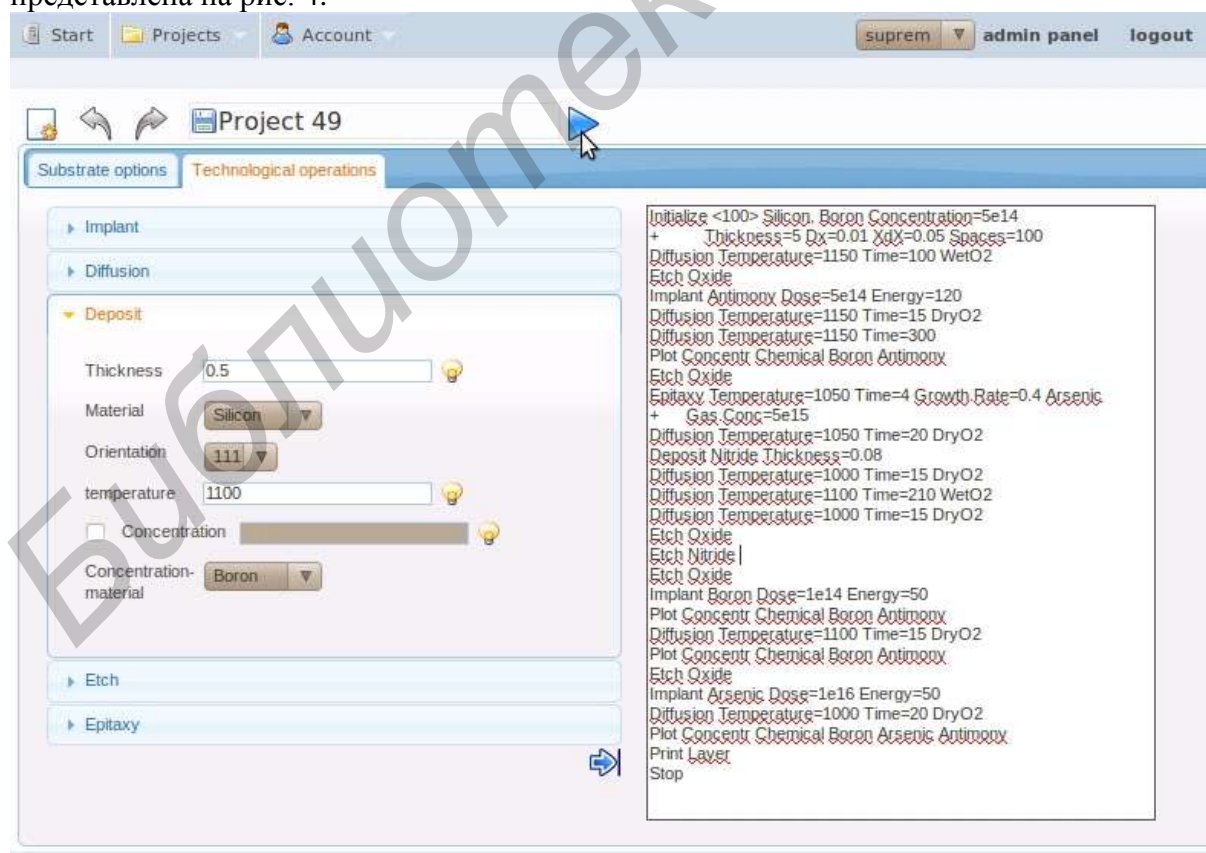
Очевидно, что использование сети Интернет для обучения работе в среде недоступного проектировщику программного обеспечения, а также для осуществления проектирования в режиме клиент-сервер посредством необходимого программного обеспечения, размещенного на центральном сервере, является чрезвычайно эффективным [8-10]. Еще одним аспектом использования сети Интернет для проектирования является совместная работа над одним проектом (под управлением координатора) разделенными в пространстве специалистами, обладающими различным уровнем профессионализма и опыта. Примером такой системы групповой разработки

приложений, применяемой при разработке крупных проектов, является технология CVS, широко используемая в SourceForge.

Центральное место в создании аппаратных комплексов принадлежит Web-серверу, на котором размещено используемое для проектирования и проведения расчетов программное обеспечение. Web-сервер обеспечивает доступ пользователя к сайту, а также проводит обработку всех запросов, вводимых пользователем через браузер. Другая функция Web-сервера – это осуществление обмена информацией о текущем состоянии проекта, полученной и обработанной при запросе пользователя. Таким образом, Web-сервер является связующим звеном между аппаратными средствами сети Интернет и пользовательским браузером. Наиболее удобным и эффективным в отношении указанных требований является Web-сервер Apache. Apache предоставляет богатые возможности, позволяющие настроить Web-сервер в соответствии с потребностями индивидуальных и корпоративных пользователей. Настройка сервера Apache производится с помощью директив, содержащихся в конфигурационных файлах. Apache позволяет создавать виртуальные Web-узлы, а также выполняет функции прокси-сервера.

Для обработки форм, которые содержат запросы на проектирование (моделирование), а также результаты расчетов, проведенных на сервере, можно использовать языки PHP/PERL, скриптовые языки, наиболее приспособленные к среде UNIX. Для сохранения в графическом формате (например, PNG) результатов моделирования оптимально использовать стандартную, бесплатную программу gnuplot, т.к. она обладает гибкими настройками и совместима с системами UNIX.

Структурная схема Интернет аппаратно-программного комплекса для удаленного моделирования и проектирования технологии ИМС в среде модуля GUI-SUPREM III представлена на рис. 4.



**Рисунок 4 – Реализация аппаратно-программного комплекса GUI-SUPREM III**

Для ввода директив на моделирование и их параметров (как технологических, так и расчетных) в среде аппаратно-программного комплекса GUI-SUPREM III используется разработанная авторами на интерпретируемом языке Ajax динамическая оболочка (рис. 4). В среде этой управляющей оболочки возможен запуск как текущего задания на моделирование, так и различных примеров на моделирование, разработанных авторами.

Для отправки формы с заданием на моделирование на сервер Apache используется кнопка «Run ->» – содержание формы считывается и записывается во временный файл, который используется для проведения моделирования. Результаты моделирования записываются в выходной файл, который далее используется программой GnuPlot, предназначенной для построения и сохранения в формате PNG графиков распределений примесей в моделируемой структуре.

Окно с результатами моделирования в среде аппаратно-программного комплекса GUI-SUPREM III, представлено на рис. 5.



**Рисунок 5** – Окно с результатами моделирования в виде графиков распределения концентрации примесей (бор, сурьма) по глубине подложки

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОГО ПОДХОДА УДАЛЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ** ( $q_4$ ) Одним из важнейших требований при организации удаленного (в сети Интернет) программного комплекса проектирования [11,16-19] является обеспечение такого выбора стандартных средств и технологий, чтобы гарантировать разработчикам устойчивые удаленные соединения с программным комплексом с одновременным обеспечением минимальной нагрузки на центральный сервер и его сетевой интерфейс.

В качестве исходных данных, характеризующих используемый программно-аппаратный комплекс, принимается функция

$$\Psi = \{H, D, O, Q\}, \quad (1)$$

где:  $H = \{u_i\}$ ,  $i > 1$  – хосты, подключенные к центральному серверу (где установлены программные средства для компьютерного проектирования технологии ИМС),

$D = \{d_j\}$ ,  $j > 1$  – тип данных, передаваемых на центральный сервер,

$O = \{o_k\}$ ,  $k > 1$  – тип сетевых операций (просмотр результатов, моделирование),

$Q = \{q_l\}$ ,  $l > 2$  – возможные стеки протоколов, образующих сетевую среду.

Учитывая требования к использованию различных альтернативных показателей работы сервера, необходимо применять вектор показателей эффективности  $\omega$ :

$$\omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}, \quad (2)$$

где: избыточность  $\omega_1$  – показатель эффективности использования пропускной способности сетевого интерфейса центрального сервера, производительность  $\omega_2$  – показатель эффективности работы сетевого интерфейса центрального сервера при различных нагрузках, нагрузка на оборудование  $\omega_3$  – показатель эффективности использования разных инструментов при нагрузке центрального сервера и оперативной памяти,

Таким образом, должна решаться многокритериальная задача, для решения которой целесообразно использовать метод обобщенного показателя в виде

$$S = \sum \alpha_h \omega_h \quad (3)$$

где  $\alpha_h$  – весовой коэффициент  $h$ -го частного показателя.

В результате задача нахождения оптимального значения сводится к расчету максимального значения обобщенного показателя  $S$ , что позволит определить набор стандартных инструментов, составляющих наиболее предпочтительное решение для реализации комплекса удаленного проектирования (на примере технологий ИМС) в сети Интернет.

**Таблица 1** – Результаты исследования эффективности инструментов.

| Инструменты                    | $\omega_1$ | $\omega_2$ | $\omega_3$ | $\Sigma\Sigma$ |
|--------------------------------|------------|------------|------------|----------------|
| q <sub>1</sub> , ssh           | 3,0        | 2,2        | 2,2        | 2,5            |
| q <sub>2</sub> , vnc           | 1,0        | 1,5        | 2,3        | 1,6            |
| q <sub>3</sub> , nx            | 3,5        | 3,0        | 2,7        | 3,1            |
| q <sub>4</sub> , п/р (автором) | 3,7        | 3,7        | 2,5        | 3,3            |

**ВЫВОДЫ** Разработан эффективный программно-аппаратный модуль GUI (Graphical User Interface)-SUPREM III для организации проектирования и дистанционного обучения технологии в микроэлектронике в глобальной сети Интернет. Программная часть модуля как средства для проектирования в режиме клиент-сервер основана на использовании современных инструментов и языков информационной технологии. Основой модуля как средства проектирования технологии в микроэлектронике является программный комплекс SUPREM III. Модуль успешно используется в технических образовательных учреждениях республики и за рубежом в лекционных курсах и компьютерных лабораторных занятиях в рамках дисциплин, связанных с проектированием в микроэлектронике.

#### *Литература*

1. Nelayev V., Stempitsky V., Kudin K. Internet-based technology design and simulation // Proc. 8th EUROMICRO Conf. on Digital System Design. Porto, Portugal, 2005. P. 435–439.
2. Видеков В., Найбук М.Н., Нелаев В.В., Радонов Р., Стемпицкий В.Р. Web-среда для контроля качества и управления учебным процессом // Республиканская научно-методическая

конференция «Высшее техническое образование: проблемы и пути развития», Минск, Белорус, 2006 С. 63.

3. Оськин А.Ф., Оськин Д.А., Оськина Л. Д., Кастрюк А.П. Сравнение некоммерческих программных систем для организации дистанционного обучения // Материалы IV международной научно-методической конференции «Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века», Минск, 2004. С. 78–80.

4. Исаченко А.Н., Мандрик П.А. Использование СДО «eUniversity на факультете прикладной математики и информатики Белгосуниверситета» // Материалы республиканской научно-методической конференции «Высшее техническое образование: проблемы и пути развития», Минск, 2006. С. 9–10.

5. Найбук М.Н. Моделирование и проектирование технологии ИМС в среде модуля GUI-SUPREM III // Доклады БГУИР. 2006. №5. С. 95.

6. Найбук М.Н., Нелаев В.В. Программный модуль GUI-SUPREM III для проектирования технологии интегральных схем: Методическое пособие.- Мн.: БГУИР, 2007–43 с.

7. <http://www-tcad.stanford.edu>

8. Найбук М.Н. Internet-обучение технологии в микроэлектронике с использованием программного модуля GUI-SUPREM III // Материалы V международной научно-методической конференции «Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века», Минск, 2005. С. 92–95.

9. Kuzmicz W., Nelayev V., Stempitsky V. and Kudin K. Design and simulation via Internet // Proc. 9th Advanced Training Course on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. Education of Computer Aided Design of Modern ICs and Systems. Lodz, Poland, 2003. P. 665–668.

10. Najbuk M., Nelayev V. Internet-based learning and design in microelectronics // Proc. Int Conf. «e-learning jako metoda spomagajaca proces kształcenia», Gdańsk, Poland, 2006. P.72–76.

11. Найбук М.Н. e-обучающие комплексы в микроэлектронике // Материалы VIII международной научно-методической конференции «Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества», Витебск, 2005. С. 229–231.

12. <http://www.slax.org>

13. Нелаев В.В. Физическое моделирование технологических процессов в программе SUPREM II: Учебн. пособие. – Мн.: БГУИР, 1998.–37 с.

14. Нелаев В.В. Программа SUPREM II моделирования технологии изготовления интегральных схем: Метод. пособие. – Мн.: БГУИР, 1998.–26 с.

15. Нелаев В.В., Стемпичкий В.Р. Технологическое проектирование интегральных схем. Программа SSUPREM4: Учебн. пособие.- Мн.: БГУИР, 2004–102 с.

16. V. Nelayev, M. Najbuk, T. Breczko, Hardware-software platform for integrated circuit technology learning and design via Internet, Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems, PIAP, POLAND 2011. Volume 5, № 4, 2011. ISSN: 1897-8649., PP. 26-29.

17. T. Breczko, V. V. Baranov, V. V. Nelaev, M. Najbuk, V. R. Stempitski, Methods and facilities for computer design within Internet. Journal: Технология и конструирование в электронной аппаратуре, PP. 15-16.Nr.3(75) Odessa, 2008, ISSN:0130-6243.

18. Murav'ev V.V., Tamelo A.A., Breczko T., Najbuk M., Molodkin D.F., Modelling of processes of carry and electronic properties of heterostructures in the via Internet. 2011 21st International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» 12-16 September 2011 Sevastopol, Crimea, Ukraine, PP. 814-815. ISBN: 978-966-335-351-7, IEEE: CFP11788.

19. Nelayev V, Najbuk M., Breczko T., Tamelo A.A., Molodkin D.F., Vychislenija jelektronnyh svojstv polprovodnikovoyh materialov v internet srede. / Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы VII Международная науч.-метод. конф., Минск. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2011, PP. 426-428., ISBN 978-985-488-825-5.