

Міністерство освіти та науки України
Криворізький державний педагогічний університет

Комп'ютерне моделювання
та інформаційні технології
в природничих науках

Збірник наукових праць

Кривий Ріг
Видавничий відділ КДПУ
2000

ББК 32.973.3

К 63

УДК 681.3.001.57+37.01:007

Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в природничих науках: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 2000. – 464 с.

Збірник містить статті з різних аспектів застосування моделювання у природничих науках та освітній діяльності, нових технологій навчання фізики, математики та інформатики. Значну увагу приділено інформаційним технологіям в управлінській діяльності.

Для студентів вищих навчальних закладів, аспірантів, наукових та педагогічних працівників.

Редакційна колегія:

В.М. Соловійов, доктор фізико-математичних наук
Є.Я. Глушко, доктор фізико-математичних наук
О.І. Олейніков, доктор фізико-математичних наук
В.І. Хорольський, доктор технічних наук, професор
О.А. Учитель, доктор технічних наук, професор
В.І. Шанда, кандидат біологічних наук, професор
І.О. Теплицький, відповідальний редактор
С.О. Семеріков, відповідальний секретар

Рецензенти:

В.М. Назаренко – д-р техн. наук, проф., зав. кафедри інформатики, автоматики та систем управління Криворізького технічного університету, академік Міжнародної Академії комп'ютерних наук і систем
А.Ю. Ків – д-р фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики Південноукраїнського державного педагогічного університету (м. Одеса)

Затверджено Вченою Радою Криворізького державного педагогічного університету (протокол №8 від 18.04.2000 р.)

ISBN 966-7048-05-7

ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЙ ПОДПОРОГОВЫХ ЭНЕРГИЙ НА РЕКОНСТРУКЦИЮ ПОВЕРХНОСТИ Si (001)

А.Е. Кив¹, В.Н. Соловьев², Т.И. Максимова²

¹ Israel, Beer-Sheva, Ben-Gurion University

² Украина, г. Кривой Рог, Криворожский государственный педагогический университет

Возможность управления свойствами полупроводников путем ионной бомбардировки, в частности, применение этого метода для очистки поверхности представляет значительный практический интерес. Основной задачей нашего исследования являлось выявление с помощью методов компьютерного моделирования наиболее благоприятных условий применения радиационной обработки поверхности с целью ее стабилизации.

Реальная поверхность Si существенно отличается от идеальной кристаллической структуры в объеме полупроводника. Не являясь естественной поверхностью скола, поверхность Si (001) получается при выращивании Si разными методами.

Обычно для приготовления чистых поверхностей Si (001) используются повторяющиеся циклы ионами [1], как правило, ионами Ag. При этом обычно используются ионы с энергиями E_m от нескольких кэВ до энергий порядка 1000 кэВ. Использование такого широкого энергетического спектра ионов приводит к тому, что в результате столкновения налетающего иона с атомом кремния, дополнительная энергия, передаваемая последнему, достигает величины порядка 100 эВ. Это значение в несколько раз превышает пороговую энергию дефектообразования в кремнии [2], что увеличивает длину пробега ионов и является причиной неизбежного возникновения радиационных дефектов в подповерхностных слоях [3], часть которых стабилизируется и влияет на физические свойства полупроводника.

Анализ имеющихся экспериментальных и теоретических данных позволяет выдвинуть предположение, что интенсивное подпороговое и пороговое облучение может быть использовано как один из способов радиационного упорядочения дефектных полигонов. Несомненным его преимуществом является слабое воздействие на атомы структурно упорядоченных слоев, недос-

таточное для разрушения «правильных» связей и образования точечных дефектов.

Для реализации поставленной задачи требуется рассмотрение структуры, максимально приближенной к реально получаемым поверхностям Si (001), содержащая не только одиночные точечные дефекты, но и более сложные дефектные полигоны.

Моделирование реальной поверхности (001) кремния, а также глубина радиационного воздействия требуют увеличения размера расчетной ячейки до величины порядка 10^3 атомов, поэтому в работе использовался метод молекулярной динамики с использованием полуэмпирических потенциалов [4]. При таком выборе получаемые результаты сужаются до возможности получения энергетических характеристик системы, ее атомной структуры и диагностики структурно зависимых свойств. Дополнительным преимуществом является возможность исследования свободной релаксации разупорядоченной структуры, без каких-либо начальных предположений относительно возможных смещений поверхностных атомов.

Движение атомов описывается уравнениями классической динамики с известным потенциалом взаимодействия между атомами. Таким образом, точность расчетов в основном зависит от того, насколько корректно форма потенциала отражает реальные результирующие процессы межатомного и электрон-атомного взаимодействия.

В работе использовались потенциалы Стиллинджера-Вебера [5] и Китинга [6], которые в хорошем согласии с *ab initio* и экспериментальными данными отражают не только объемные характеристики кристалла, но и процессы, происходящие при искажении sp^3 , sp^2 и sp гибридизации, имеющие место на поверхности Si (001) [7].

Расчетная ячейка состоит из 864 атомов, общее число атомов, включаемых в расчет, составляет 1152 атома. Были введены периодические граничные условия в двух направлениях.

Исследовалось изменение реконструкции поверхности под влиянием облучения при температуре 300 К. Значения энергий, передаваемых атомам Si, выбирались в интервале от 1 до 50 эВ, что соответствует подпороговым и околопороговым энергиям налетающих частиц.

В ходе исследования прослеживалось изменение энергетических и структурных характеристик поверхности в зависимости от энергии облучения.

Характеризуя общие особенности релаксации, можно выделить два этапа релаксации поверхности Si (001): основная и полная релаксация системы. На первом этапе происходят основные структурные перестройки, которые характеризуются наибольшими смещениями атомов, система приходит к первому энергетическому минимуму. На втором этапе полной релаксации поверхности дальнейшее падение энергии системы происходит более медленными темпами. Процесс обусловлен продолжающейся реконструкцией приповерхностных слоев, вторичными эффектами, возникающими после основных смещений атомов.

Анализ энергетических кривых показывает, что облучение системы приводит к ускорению релаксации поверхности, эта тенденция усиливается с увеличением энергии облучения. Зависимость ускорения времени основной релаксации от энергии передаваемой атому кремния при облучении приведена на рис. 1.

При $E_i=30, 40$ эВ время основной релаксации системы сокращается вдвое. Наиболее быстрый процесс основной релаксации наблюдается при энергии частиц 40 эВ, но при этом энергия не достигает минимума, полная релаксация замедляется и, как будет показано в дальнейшем, не ведет к оптимизации реконструкции.

Кроме ускорения релаксации, нас интересовала возможность конечного энергетического выигрыша от бомбардировки после полной релаксации системы. Наиболее активный процесс минимизации энергии наблюдается при бомбардировке 30 эВ, что соответствует пороговому значению энергии для данного кристаллографического направления.

Рассматривалась относительная величина падения энергии ΔE^i в расчете на один атом:

$$\Delta E^i = \frac{E_0 - E_t^i}{N} \quad (1)$$

где E_0 – значение полной энергии, к которой срелаксировала система без бомбардировки; E_t^i – значение полной энергии, к которой срелаксировала система при бомбардировке низкоэнергетическими ионами; i – энергия, передаваемая атому при его соуда-

рени с частицей; N – количество атомов, которые входят в зону облучения.

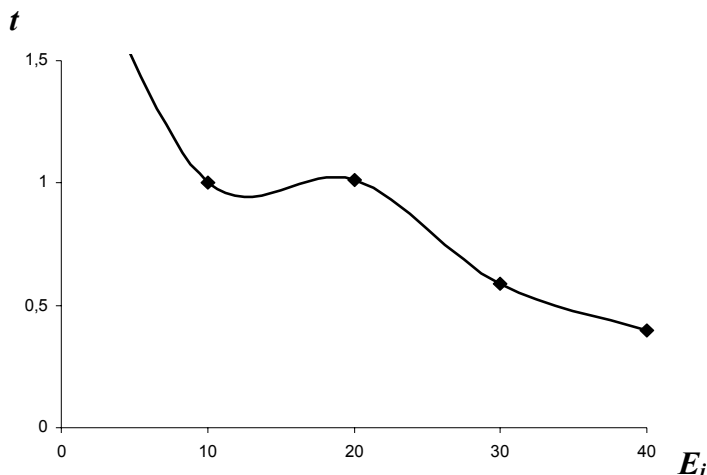


Рис. 1. Зависимость ускорения времени основной релаксации от энергии передаваемой атому кремния при облучении. За единицу принято время t основной релаксации поверхности без бомбардировки.

Положительное значение ΔE^i означает, что бомбардировка привела к понижению энергии системы и, как следствие, улучшению ее структуры. Изменение знака ΔE^i свидетельствует о «набивании» дефектов и увеличении числа напряженных аномальных связей в этих слоях. Этот процесс характерен для условий, когда энергия облучения превышает пороговую (при 40 эВ процесс происходит до 7-го слоя включительно).

Процесс понижения полной энергии атомов в приповерхностных слоях проходит неравномерно. Выяснение степени влияния низкоэнергетического облучения на каждый из приповерхностных слоев показывает, что этот процесс наиболее активен в первом и во втором приповерхностных слоях, выполняется соотношение $\Delta E_1 > \Delta E_2 \geq \Delta E_3, \Delta E_4$, где ΔE_n – энергетический выигрыш в n -м слое.

Подпороговые значения энергий налетающих частиц ведут к тому, что в четырех верхних приповерхностных слоях формиру-

ются низкоэнергетические конфигурации атомов. Влияние бомбардировки на пятый слой уже незначительно, в более глубоких слоях $\Delta E_n=0$ ($n>5$). Таким образом, глубина влияния подпорогового облучения и изменения энергии системы соответствует глубине дефектных полигонов, наблюдаемых на поверхности Si (001) без облучения.

Все перечисленные особенности изменения энергетических характеристик свидетельствуют о том, что подпороговое облучение разбивает дефектные полигоны в приповерхностных слоях. Как известно из теории дефектообразования [2], такие полигоны характеризуются аномальными возбужденными связями, что ведет к их неустойчивости и подвижности, поэтому для их разрушения требуется более низкая энергия, чем для разрушения естественных для кремния связей.

При высоких энергиях облучения наблюдаемый процесс повышения энергии в глубоких слоях, начиная с четвертого, свидетельствует о том, что в этом случае энергии, сообщаемой атому достаточно не только для того, чтобы разрушить дефектные связи, но и разбить правильные полигоны на более глубоком уровне.

При энергии налетающих частиц 30 эВ, в расчете на один атом энергетический выигрыш ΔE^{30} составляет: в первом слое 0.125 эВ/ат, во втором 0.153 эВ, в третьем 0.153 эВ/ат, в четвертом -0.014 эВ/ат. Величина падения энергии в расчете на один приповерхностный атом приведена в табл. 1.

Проявляется тенденция к уменьшению числа аномальных полигонов с напряженными связями. При всех энергиях налетающих частиц наблюдается увеличение числа n -членных колец с $n=6$, характерных для объема кристалла и соответственное уменьшение числа аномальных колец.

Наибольшее падение количества аномальных колец происходит для $n=5$. Анализ имеющихся зависимостей полной энергии на один атом кластера [8] показывает, что такие кольца наиболее энергетически невыгодны (рис. 4.11). Из всех наблюдаемых в приповерхностных слоях n -членных колец, где n изменяется от 3 до 8, именно в этом случае создается конфигурация с максимальной энергией. Интересно отметить, что при энергиях облучения ~ 10 эВ может возрасть число колец с $n=4$, которые

наряду с $n=6$ также характеризуются минимальным значением энергии.

Таблица 1. Изменение полной энергии ΔE^i поверхности Si (001) в расчете на один атом кремния при получении поверхности в условиях низкоэнергетического облучения (по сравнению с аналогичными результатами без бомбардировки).

№ слоя	ΔE^i , эВ				
	$i=1$ эВ	$i=10$ эВ	$i=20$ эВ	$i=30$ эВ	$i=40$ эВ
1	-0.014	0.083	0.069	0.125	-0.042
2	-0.028	0.069	-0.042	0.153	-0.056
3	0.049	0.194	0.083	0.153	0.028
4	-0.083	0.042	0.028	-0.010	-0.056
5	-0.056	0.0	0.028	0.016	-0.015

Следующей важной особенностью изменения структуры приповерхностных слоев является наблюдаемое «восстановление» приповерхностных слоев. Разупорядоченная поверхность характеризуется значительными смещениями атомов (табл. 3.4), при этом атомы могут покидать тот условный слой, в котором они находились первоначально (до релаксации). В наибольшей степени эта особенность характерна для атомов трех верхних слоев, представляющих собой разупорядоченную фазу. В результате подобных смещений слои могут значительно разрыхляться, между фазой разупорядочения и кристаллическими слоями, начиная с четвертого, образуются пустоты.

В ходе бомбардировки наблюдается заполнение возникших пустот и возвращение атомов в слой. В слой возвращаются от 18% до 48% атомов. Наиболее эффективное восстановление наблюдается при энергии облучения 30 эВ (48%). При более низких энергиях облучения процент атомов, возвращающихся в слой, составляет 18–25 %.

Восстановление 3-го слоя начинается при энергиях облучения порядка ~20 эВ. Максимальный эффект наблюдается при энергиях, близких к пороговому значению, в этом случае все атомы 3-го слоя могут периодически возвращаться в слой. Однако полное восстановление не является устойчивым. Связи ато-

мов довольно подвижны и наблюдаются колебания в степени уплотнения этого слоя, хотя в целом даже минимальное восстановление третьего слоя довольно существенно – в слой возвращается свыше 47% атомов, которые выходят из слоя без бомбардировки.

Результатом подобных перестроек является практически полное исчезновение пустот и более сглаженный переход между разупорядоченной и кристаллической фазой, что проявляется в тенденции к замыканию ненасыщенных связей. Так как без бомбардировки пустоты возникали между разупорядоченной и кристаллической фазой, то в наибольшей степени данная особенность проявляется для атомов четвертого слоя. Без бомбардировки атомы этого слоя практически не выходят из узловых положений, однако, вследствие разупорядочения верхних слоев, в нем образовывается значительное число оборванных связей. Восстановление верхних приповерхностных слоев стимулирует процесс замыкания оборванных связей. Если без бомбардировки порядка 82–86 % атомов имели все четыре насыщенные связи, то после облучения все связи насыщаются у 90–92 % атомов.

При повышении энергии до величины, превышающей пороговое значение, наблюдалось дополнительное разбиение верхних слоев, сильное разрушение из структуры. Подобный эффект имел место и при увеличении дозы облучения в несколько раз. Разрушения затрагивали два приповерхностных слоя. Хотя энергия, сообщаемая атомам кремния, порядка 40–50 эВ эффективна для восстановления 3–4 приповерхностных слоев (в слой возвращается около 40% атомов), при $i=40$ эВ влияние отдельных ударов распространяется до 7-го слоя, в 5, 6, 7 слоях возникают дополнительные дефекты.

Таким образом, результаты исследования показывают, что восстановление дефектных участков и улучшение их структуры наиболее эффективно при использовании энергий налетающих частиц вблизи пороговых значений. Превышение порогового значения может иметь обратный эффект и приводить к дополнительному распространению дефектных участков.

Выявленные особенности влияния низкоэнергетического облучения на восстановление дефектных поверхностных слоев позволяют использовать их при приготовлении чистой поверхности

Si (001), что позволяет заменить процесс «выбивания» верхних разупорядоченных слоев вследствие их облучения высокоэнергетическими ионами на их частичное или полное восстановление в результате низкоэнергетической бомбардировки.

Литература

1. Бехштедт Ф., Эндерлайн Р. Поверхности и границы раздела полупроводников: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 488 с.
2. Вавилов В.С., Кив А.Е., Ниязова О.Р. Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках. – М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. литературы, 1981. – 368 с.
3. Вавилов В.С., Ухин Н.А. Радиационные дефекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах. – М.: Атомиздат, 1969. – 312 с.
4. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике: Пер. с англ. / Под. ред. С.А.Ахманова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 176 с.
5. F. Stillinger, T. Weber, *New interatomic potential for Si*, Phys. Rev. B **31**, 5262 (1985).
6. I. Ohdomari, H. Akatsu, *The structural models of the Si/SiO₂ interface*, Non-Cryst. Sol. **89** 239-248 (1987).
7. M.Z. Bazant, E. Kaxiras, *Environment-dependent interatomic potential for bulk silicon*, Phys.Rev, B **56**(14), 8542-8552 (1997).
8. V.V. Kovalchuk, V.V. Chislov, V.A. Yanchuk, *Cluster model of the real silicon surface*, Phys. Stat. Sol. (b) **187**, K47 (1995).

Зміст

<i>В.М. Соловійов.</i> Фізико-математичному факультету – 70 років	3
<i>Ю.В. Загородній, Ю.Б. Бродський.</i> Концепція інформаційної системології	8
<i>А.А. Мирошниченко.</i> Компьютерное моделирование как применение синергетических методов в естественных науках	13
<i>А.Е. Кив, В.Н. Соловьев, Т.И. Максимова.</i> Влияние излучений подпороговых энергий на реконструкцию поверхности Si (001)	16
<i>Н.В. Витюк.</i> Решение задачи «структура–активность» на основе принципа структурного подобия объектов	24
<i>Н.В. Витюк.</i> Нерепрессионные подходы к установлению связи «структура–активность (свойство)»	35
<i>В.Н. Евтеев.</i> Влияние случайного возмущения и разупорядоченности на спектр и волновые функции электрона в ограниченных полупроводниковых системах	49
<i>Е.В. Журавель.</i> Моделирование полупроводниковых сверхрешеток средствами АКИС	54
<i>М.В. Моисеенко.</i> Электронная структура, вольтамперные характеристики и заряджение линейных молекулярных цепочек, контактирующих с металлом	59
<i>С.Д. Светличная.</i> Моделирование нестационарных деформационных процессов в упругих многослойных телах, имеющих форму кольцевого цилиндрического сегмента	70
<i>Е.С. Акиншиева, Ю.В. Харламов, В.Д. Швец.</i> Полуэмпирический расчет π -системы аллильного радикала и молекулы бутадиена-1,3	74
<i>А.С. Фисенко, В.Д. Швец, В.Ю. Гладкий.</i> Применение метода вращения Якоби для определения собственных значений матрицы гамильтониана	78
<i>А.В. Фрузинский, В.Д. Швец.</i> Применение метода наименьших квадратов для исследования тонкой структуры спектров атомов щелочных металлов	85
<i>Р.В. Колодницька.</i> Комп'ютерне моделювання процесу пластичної деформації	89
<i>В.В. Корольський.</i> Синтез топологии математических моделей сетевых систем с непрерывным потокораспределением	94

<i>А.А. Архипенко, Е.Я. Глушко, А.Я. Глушко, К.В. Якубенко, Н.А. Слюсаренко.</i> Исследование прохождения тока в ультрадисперсной квазижидкой проводящей среде	99
<i>В.В. Войтенко.</i> Моделювання гео-інформаційної системи для розв'язку регіональних екологічних проблем, пов'язаних з радіоактивним забрудненням	106
<i>А.В. Льченко, В.Ф. Запольський.</i> Програмно-апаратний комплекс для дослідження перехідних процесів провідності етанол-бензинових сумішей	110
<i>Э.П. Левченко.</i> Моделирование процесса измельчения зерновых материалов в центробежно-ударной мельнице	120
<i>В.В. Тютюник, С.В. Говаленков, Г.В. Тарасова, С.А. Тюрин.</i> Первичный преобразователь системы компьютерного прогнозирования параметров газоздушных сред	122
<i>М.С. Жуков, Л.Л. Жукова, Д.Є. Бобилєв, В.А. Денисюк.</i> Цифровий адаптивний регулятор струму тиристорного електроприводу постійного струму	126
<i>А.П. Полищук, С.А. Семериков.</i> Последовательный симплекс-поиск в задачах параметрической идентификации	131
<i>А.А. Хараджян.</i> Использование объектно-ориентированного подхода для моделирования электромеханических систем	143
<i>А.А. Хараджян.</i> Использование объектно-ориентированного программирования для идентификации динамических систем	147
<i>В.А. Бичко, О.І. Головахіна.</i> Комп'ютерне моделювання поверхні реального об'єкта	151
<i>О.І. Собко.</i> Особливості використання персональної ЕОМ при проведенні лабораторного практикуму у вузі	153
<i>О.М. Ігнатова, А.О. Шишкова, І.В. Кашель.</i> Статистичне моделювання ризикових зон для екологічно, економічно та фінансово нестійких об'єктів господарювання	156
<i>Н.А. Леонова, В.Н. Соловєв.</i> Формирование научного мировоззрения средствами математического моделирования	159
<i>Ю.О. Ісайчева, С.М. Лисечко.</i> Інструментальне середовище для моделювання явищ геометричної оптики	166
<i>Л.Р. Калапуша, В.П. Муляр.</i> Вивчення будови та принципу дії циклотрона на основі комп'ютерної моделі	172
<i>О.С. Мартинюк, Л.Р. Калапуша.</i> Комп'ютерне моделювання в навчальному фізичному експерименті	176

<i>В.І. Торкатюк, О.А. Векленко, В.П. Бутнік, В.Т. Кулік, А.П. Денисенко.</i> Шриффт як основа інформаційних технологій в управлінській діяльності	180
<i>Д.А. Соболев.</i> Технологи ХХІ века на службе сельського хозяйства Украины	198
<i>О.Г. Тімінський.</i> Інформаційні технології для управління проектами трансферу	207
<i>Ю.М. Кравченко.</i> Компьютерные технологии в обучении практических психологов	212
<i>Т.Г. Білова.</i> Інтелектуальний пошук у корпоративних системах електронного документообігу	215
<i>Л.В. Кубарская.</i> Компьютер в управлении школой	217
<i>А.П. Полищук, С.А. Семериков, Н.В. Грищенко.</i> О выборе языка программирования для начального обучения	220
<i>В.Л. Малорян, С.В. Варбанец.</i> Компонентно-ориентированный подход к изучению курса программирования в высших учебных заведениях	237
<i>М.П. Білан.</i> Викладання інформатики в Криворізькому обласному ліцеї–інтернаті для сільської молоді	242
<i>М.Э. Егорова.</i> Познать, играть и творя!	245
<i>И.Д. Стасюков, О.М. Брадул.</i> Введение в архитектуру «клиент/сервер»	253
<i>Г.М. Приймак.</i> Об'єктно-орієнтований підхід до розробки програмного забезпечення	262
<i>А.А. Швабский.</i> Анализ перспектив использования трёхмерной компьютерной графики в учебном процессе	266
<i>М.С. Жуков, Р.О. Постоечко, М.М. Сілініна.</i> Дослідження алгоритмів впорядкування масивів даних	268
<i>Є.С. Панкратов.</i> Бібліотека чисельних методів Digit Pro 1.0	273
<i>М.П. Рывкин.</i> Электронный справочник “Улицами Кривого Рога 2000”	275
<i>В.А. Юрченко, С.А. Семериков.</i> Эффективное использование ресурсов компьютера для решения прикладных задач (факультативный курс)	278
<i>В.В. Корольский.</i> К методике определения уровня знаний школьников с применением компьютеров	283
<i>А.М. Стрюк.</i> Використання експертної системи для соціонічного аналізу та прогнозу	286

<i>А.Д. Большевцев, В.А. Добрыдень, Ю.А. Смолин, А.И. Федюшин.</i>	
Информационный критерий качества контроля	291
<i>В.Г. Шерстюк, А.П. Бень, А.А. Дидык.</i>	
Мультимодальная логика для представления знаний в интеллектуальных обучающих системах	294
<i>В.В. Петров, Л.М. Солоха.</i>	
Застосування комп'ютерного тестування для навчання рішення нестандартних задач	300
<i>К.О. Мірошник, В.В. Ніколаєвська.</i>	
Комп'ютерне тестування рівня сформованості інтелекту старшокласників	303
<i>М.А. Бондаренко.</i>	
Система автоматизованого контролю знань та умінь TUTOR-WINDOWS	309
<i>Л.О. Ковальчук, В.Я. Янчак.</i>	
Створення навчально-контролюючих програм для вивчення органічної хімії та біохімії на мові ДІНА	311
<i>В.В. Міхеев, Г.М. Міхеева.</i>	
Багатопрофільна комп'ютерна система лінійного та циклічного тестування	318
<i>Е.А. Белоножко.</i>	
Формирование познавательной самостоятельности учащихся средствами новых информационных технологий	321
<i>О.В. Бич.</i>	
Методична система вивчення теорії многочленів з використанням нових інформаційних технологій навчання	326
<i>С.Г. Грищенко.</i>	
Застосування нових інформаційних технологій при вивченні функцій у шкільному курсі математики	330
<i>Д.М. Євстігнєєва.</i>	
Формування графічної культури учнів на уроках алгебри засобами НІТ	333
<i>М.С. Жуков, О.Г. Пугач, О.О. Постоеько.</i>	
Використання комп'ютерних технологій при вивченні математики в середній школі	336
<i>І.М. Поліщук.</i>	
Реалізація засобів наочності на уроках геометрії	341
<i>О.О. Устименко, О.П. Поручинська.</i>	
Використання нових інформаційних технологій при вивченні шкільного курсу математики	348
<i>О.В. Дейнеко.</i>	
Винахідницькі задачі в шкільному курсі фізики	353
<i>М.І. Задорожній.</i>	
Алгоритм розв'язування фізичних задач для комп'ютера та учнів	358

<i>Н.С. Осина, Т.П. Кузьмич.</i> Использование электронных таблиц для обработки экспериментальных данных в школьном курсе физики	365
<i>І.О. Теплицький.</i> Застосування електронних таблиць на уроках фізики	373
<i>Н.В. Грищенко.</i> Нові інформаційні технології на природничих факультетах	381
<i>С.В. Рева.</i> Роль информационных технологий в развитии естественных наук	385
<i>С.В. Рева, Ю.П. Рева.</i> Ефективність різних комп'ютерних методів сучасного навчання	389
<i>Л.В. Легка.</i> Використання інформаційних технологій для активізації навчання нарисній геометрії	394
<i>Е.А. Смолова, С.В. Сербина.</i> Формирование приемов умственной деятельности при изучении темы «Введение в информатику»	397
<i>Ю.В. Филатов.</i> Решение задач повышенной сложности по информатике: анализ условия	406
<i>Г.В. Шугайло.</i> Про деякі аспекти формування у студентів педагогічного вузу навичок професійного використання комп'ютерних технологій (на прикладі редактору растрових зображень Adobe Photoshop)	412
<i>Л.О. Лісіна, О.О. Тинок.</i> Використання міської загальноосвітньої комп'ютерної мережі у навчальному процесі середньої школи	416
<i>С.В. Можайский.</i> Возможности применения HTML в учебном процессе	421
<i>В.В. Осадчий.</i> Методология работы студентов с локальными сетями и использование виртуальных WWW-серверов в учебном процессе	423
<i>С.В. Пустовіт, Т.В. Сахно, Г.Ф. Джурка.</i> Ефективний пошук хімічної інформації в Internet	426
<i>А.А. Тарасенко.</i> Компьютерная обработка числовых характеристик природных процессов	428
<i>Л.Л. Жукова, М.С. Жуков, О.В. Федоренко.</i> До питання статистичної обробки даних у середовищі Excel 97	430
<i>Л.Л. Жукова, О.С. Зеленський, В.Б. Хоцкіна, Я.В. Лешко.</i> Групування даних у середовищі Excel 97	434

<i>В.Б. Хоцкіна, Є.А. Хоцкін, О.А. Антюхіна.</i> Використання фінансових функцій у вирішенні задач господарського обліку	440
<i>Є.О. Кривенко.</i> Деякі перспективи розвитку й впровадження комп'ютерних технологій навчання	444
<i>Т.И. Максимова, С.А. Томилин, Б.А. Поддубный.</i> Моделирование границ раздела Al–Be	447
<i>Е.В. Быч, С.А. Семериков.</i> Теоретико-числовое преобразование в вычислениях с произвольной точностью	451
<i>Е.А. Кривенко.</i> Компьютерные динамические модели в школьном курсе физики	455

Наукове видання

**Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології
в природничих науках**

Збірник наукових праць

Підп. до друку 03.04.2000
Бумага офсетна №1
Ум. друк. арк. 26,10

Формат 80x84 1/16.
Зам. №4-0302
Наклад 500 прим.

Видавничий відділ Криворізького державного педагогічного
університету
КДПУ, 50086, Кривий Ріг-86, пр. Гагаріна, 54

E-mail: vyd@kpi.dp.ua