

## ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ МЕТОДИКА ФИЗИКИ

УДК 378:621.1+74.580.22

К.Т.Ермаганбетов, Л.В.Чиркова

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

### ЭЛЕМЕНТЫ КРЕАТИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ БАКАЛАВРОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

*«Физикалық электроника» арнайы курсы негізінде техника физикасы бакалаврларын өз бетімен жұмыс істеуге үйрету әдістері талданып негізделген. Техника физикасы мамандығы бойынша оқитын студенттердің өзіндік жұмыс істеп үйренулерін қалыптастырудың ғылыми-методикалық әдістемесі ұсынылып, оны «Физикалық электроника» арнайы курсы оқыту барысында іске асыру мысал ретінде берілген. Бұл мәселені шешу барысында компьютерлердің алатын орны ерекше екендігі, «Жартылайөткізгіштердің энергия жолақтары» сияқты тақырыптарды оқытқанда студенттердің өз бетімен жұмыс істеу дағдыларын қалыптастыру мәселесін қалай шешуге болатындығы көрсетілген.*

*The method introduction of elements of creative instruction training to prepare graduations of technical physics was elaborated for examples of special course «Physics electronic». The complex of scientific systemic materials for teach scientific creative for on the bases was shown for students was teaching of special course. Some systemic questions of account of topic with standpoint practice-research instruction training was examined. The computer graphics was using for learning these theme. The depended study topic «Energy spectrum of electrons in semiconductor « for students was shown in this prioject.*

Развитие творческих способностей обучающихся — одна из главных задач системы образования страны, которая вытекает из социального заказа современного общества.

Проблема развития творческих способностей учащейся молодежи сложна и многогранна. При ее решении нужно учитывать ряд особенностей. Важная особенность развития творчества у обучающихся состоит в том, что процесс имеет объективный и субъективный характер. Объективность творческого процесса обусловлена новизной и социальной ценностью конечного продукта творчества. Состояние творца при вдохновении, внезапность догадки и интуиция могут иметь субъективный характер. Таким образом, в процессе развития творческих способностей следует организовать учебный процесс так, чтобы поставить студента в положение первооткрывателя того, что уже известно педагогу, но является новым для обучающегося.

Творческие способности обучающихся развиваются прежде всего в процессе деятельности. Следовательно, главной задачей преподавателя при решении этой проблемы является поиск методов и средств, форм организации учебной деятельности обучающихся, ориентированных на развитие творческих способностей.

В современной педагогической науке выделяют три этапа эволюции творческой деятельности личности [1]:

- 1) возникновение проблемной ситуации, ее первоначальный анализ, осмысление и формулировка проблемы, которые возникают в ходе познания или практической деятельности;
- 2) поиск пути и способа решения проблемы, осуществляемый в ходе всестороннего анализа проблемы на основе имеющихся знаний;
- 3) реализация найденного или угаданного принципа решения проблемы и его проверка.

Одновременно исследователями выделяются общие черты творческой деятельности [2]:

- 1) видение новой функции объекта. При этом человек способен усматривать в привычных вещах способности к иным, подчас неожиданным функциям;

- 2) самостоятельное комбинирование известных способов деятельности в новый;
- 3) видение структуры объекта: способность улавливать все элементы объекта, а также существенное и несущественное соотношение этих элементов;
- 4) наличие альтернативного мышления, т.е. разностороннее видение проблемы или объекта;
- 5) построение принципиально нового способа решения, не являющегося комбинацией известных способов решения.

Активное осмысление теории посредством исследовательской деятельности способствует развитию творческих возможностей студентов, показывает практическую значимость изучаемого материала, что в итоге приводит к повышению качества знаний у обучаемых.

Недостаточно просто ознакомить студентов с научно-техническими достижениями и объяснениями явлений природы. Необходимо научить их умению всесторонне оценивать эти достижения.

Развитие творческих способностей студентов тесно связано с положительной мотивацией обучения и пробуждением интересов, глубокой и прочной системой знаний, умением применять их для объяснения явлений, а также с обобщенными учебными умениями и навыками, всесторонним развитием самостоятельности обучаемого. Вся работа преподавателя в перечисленных направлениях создает базу для развития творческих способностей студентов, а творческая деятельность способствует самостоятельному приобретению личностью учебных знаний.

Дисциплина «Физическая электроника» является одной из базовых дисциплин рабочего учебного плана подготовки бакалавров технической физики, которая осуществляется в Карагандинском государственном университете им. Е.А.Букетова.

С точки зрения процессов, происходящих на микроскопическом уровне, физическую электронику определяют как «науку, изучающую электронные свойства некоторых твердых тел, а также методы получения материалов с такими характеристиками, которые позволяют создавать устройства для передачи и накопления электронов» [3]. При этом исследуются электронные свойства полупроводников, поскольку именно их характеристики интересны с точки зрения технических приложений.

Физическую электронику, безусловно, можно отнести к предметам исследовательско- и практикоориентированного обучения, поскольку и ее содержание, и используемые методы решения проблем способствуют развитию у студентов творческих способностей, формированию исследовательских навыков и элементов научного мышления [4].

С одной стороны, успехи физической электроники базируются на фундаментальных модельных представлениях физики: физике твердого тела, электродинамике, квантовой механике, статистической физике, термодинамике. С другой стороны, физическая электроника сама является источником и стимулом развития фундаментальной науки. Ярким примером этого может служить развитие нанoeлектроники, базирующейся на физике низкоразмерных систем [5].

Физическая электроника отвечает также еще одному важному критерию отбора задач в исследовательско-ориентированном обучении — разработанности. Это выражается в том, что базисные модельные представления, отражающие структуру и физические процессы в конденсированных средах достаточно консервативны. В то же время модели, используемые в физической электронике, во многом отвечают современному уровню физического мышления (например, изучение нелинейных электрических и оптических явлений и др.), что позволяет формировать у студентов присущее современной физике мышление.

Физическая электроника позволяет, с одной стороны, показать студентам ценность идеализации, когда простые модели дают ту же качественную картину явления, что и более сложные и строгие, а с другой — дает обширный фактический материал для осмысления границ ее применимости. В этой связи нельзя не упомянуть о зонной теории, представлении о больцмановском переносе заряда и других моделях, составляющих основу современных представлений о процессах в твердых телах [6, 7].

Таким образом, изучение физической электроники имеет важное значение при постановке исследовательско- и практикоориентированного учебного процесса с элементами креативного обучения, способствующего подготовке специалистов, способных к самостоятельной профессиональной творческой деятельности.

Одно из центральных мест в указанной учебной дисциплине занимает тема «Энергетический спектр электронов в кристалле», поскольку именно энергетическая структура носителей заряда обуславливает особенности физических процессов в полупроводниках, лежащие в основе функционирования элементов полупроводниковой электроники, микроэлектроники, оптоэлектроники и т.д. Ярким примером того, что особенности энергетического спектра электронов являются физической основой

работы полупроводниковых приборов, может служить диод с междолинным переходом электронов (диод или генератор Ганна) [8].

Диоды Ганна обычно изготавливают на основе GaAs или InP-полупроводников. Элементы на основе эффекта Ганна перспективны при разработке интегральных модулей маломощных передатчиков и приемников. Они позволяют создавать генераторы и усилители СВЧ, а также такие функциональные устройства, как импульсно-кодовые модуляторы, компараторы, аналого-цифровые преобразователи, нейристорные линии задержки, полный ряд логических элементов, генераторы колебаний сложной формы, регистры сдвига и др.

Принцип действия диода Ганна, как известно [8], заключается в следующем. Энергетическая диаграмма полупроводника GaAs, построенная в пространстве квазиимпульсов (в  $\vec{k}$ -пространстве), имеет несколько минимумов (рис. 1). В зоне проводимости, кроме центральной долины с минимумом энергии, соответствующим нулевому значению волнового вектора  $\vec{k} = 0$ , имеются еще боковые долины, у которых минимумы энергии выше центрального на величину  $\Delta E_g$ . Эффективные массы электронов в энергетических минимумах долин существенно различаются. Электроны, находящиеся на энергетических уровнях центрального минимума, называются легкими ( $m_1^* = 0,072m_0$ , где  $m_0$  — масса свободного электрона,  $m^*$  — его эффективная масса), а электроны, расположенные в боковых минимумах, — тяжелыми ( $m_2^* = 1,2m_0$ ). Так как подвижность носителей заряда определяется соотношением

$$\mu = \frac{q}{m^*} \langle \tau \rangle, \quad (1)$$

т.е. обратно пропорциональна  $m^*$ , то легкие электроны имеют высокую подвижность ( $\mu_1 \approx (5-8) \cdot 10^3$  см<sup>2</sup>/В·с), а тяжелые — низкую ( $\mu_2 \approx 100$  см<sup>2</sup>/В·с).

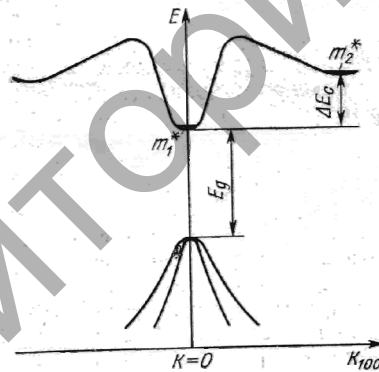


Рис. 1. Структура энергетических зон арсенида галлия в кристаллографическом направлении [100] [8]

При малых напряженностях электрического поля в полупроводнике все электроны находятся в нижнем центральном энергетическом минимуме, и плотность тока через полупроводник определяется выражением

$$j_1 = qn\mu_1 E. \quad (2)$$

Как только у части электронов с ростом напряженности электрического поля появится энергия, превышающая  $\Delta E_g$ , они смогут перейти в боковой минимум с малой подвижностью. Напряженность поля  $E_{пор}$ , при которой начинается такой переход, называют пороговой. При достижении напряженности электрического поля  $E_0$  все электроны перейдут в боковой минимум, и плотность тока будет определяться выражением

$$j_2 = qn\mu_2 E_0. \quad (3)$$

Если выполняется неравенство  $\mu_1 E_{пор} > \mu_2 E_0$ , то, соответственно,  $j_1 > j_2$ , и с ростом  $E$  от  $E_{пор}$  до  $E_0$  произойдет уменьшение тока через полупроводник. Это означает, что на вольт-амперной характеристике появится участок с отрицательной дифференциальной проводимостью. Локальные флуктуации плотности заряда, нарастая, ведут к образованию электрического домена, перемещающегося в направ-

лении тока со скоростью, близкой к скорости дрейфа электронов вне домена. Поле внутри домена значительно выше, а вне — ниже порогового. Поэтому выход домена в контактный электрод вызывает увеличение тока, после чего поле в образце снова становится выше порогового, и процесс повторяется. Частота колебаний тока обратно пропорциональна времени пролета домена через образец.

График зависимости плотности тока через полупроводниковый кристалл GaAs от напряженности электрического поля, приложенного вдоль направления [100] в кристалле, представлен на рисунке 2.

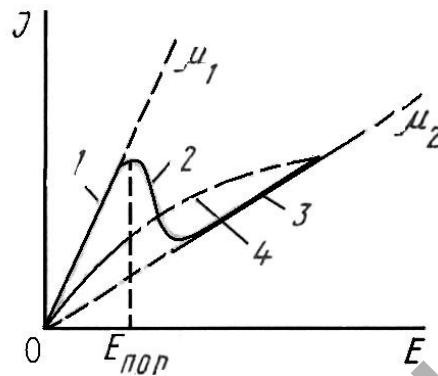


Рис. 2. Зависимость плотности тока от напряженности электрического поля [5, 6]: 1 — при наличии электронов только с большой подвижностью  $\mu_1$  (в центральной долине); 2 — переходной участок; 3 — при наличии электронов только с малой подвижностью  $\mu_2 \ll \mu_1$  (в боковой долине); 4 — при наличии в кристалле локальных напряженностей, отличных от средней напряженности электрического поля

Наличие на вольт-амперной характеристике полупроводника AsGa участка с отрицательной дифференциальной проводимостью, обусловленного особенностью энергетического спектра электронов, и является физической основой функционирования генератора Ганна.

Таким образом, особенности энергетического спектра электронов в полупроводниковых кристаллах могут служить физической основой функционирования полупроводниковых приборов.

В процессе изучения темы «Энергетический спектр электронов в кристалле» студентам предлагается самостоятельно или под руководством преподавателя решить ряд творческих задач, например: оценить границы применимости модельных представлений зонной теории, ответить на вопрос, почему представления о больцмановском переносе заряда неприменимы к материалам с малой подвижностью носителей, объяснить, возможно ли создание прибора, подобного генератору Ганна, на полупроводниках с другим типом зонной структуры и т.д.

С целью оказания методической помощи студентам при выполнении творческих заданий при изучении указанной темы авторами разработаны «Методические указания к проведению занятий СРСП (самостоятельной работы студентов под руководством преподавателя) по теме «Энергетический спектр электронов в кристалле» для студентов специальности «Техническая физика».

Поддержанию у студентов познавательного интереса к изучению дисциплины «Физическая электроника» способствует, на наш взгляд, проведение лекционных занятий с использованием компьютерной графики, наличие активного раздаточного материала, электронных курсов лекций, разработанных авторами.

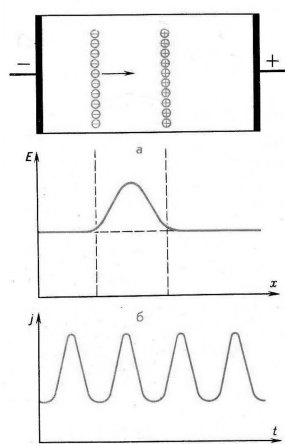
Для создания лекционных презентаций используются широко известное и распространенное приложение PowerPoint (версия 2003) Microsoft Office, которое позволяет создавать презентации с использованием богатой анимации. На слайдах можно изобразить формулы, схемы, рисунки, графики, вставить объемные изображения, использовать видеофрагменты, 3D-графику. Это приложение дает возможность показывать рисунки в движении, выделять формулы цветом и объемом, использовать всплывающие подсказки, стрелки, при необходимости использовать звук.

Авторами подготовлен графический материал по дисциплине «Физическая электроника» для специальности 050723 — «Техническая физика» на русском и казахском языках. Лекционный материал разбит на 15 лекций продолжительностью 50 минут, для каждой из которых разработано от 38 до 40 слайдов.

Каждая слайд-лекция включает тему, план изложения учебного материала, список рекомендуемой литературы, основные положения лекции и краткие текстовые комментарии. Основная часть

презентационного материала представлена схемами, чертежами, рисунками, импортированными из учебных пособий, справочников и другой доступной литературы, а также формулами. При этом большая часть схем, формул, чертежей анимирована. Временная последовательность построения изображения на экране соответствует темпу обычного построения иллюстративного материала на обычной меловой доске. Лектором осуществляется пошаговый вывод слайдов на экран, что помогает ему последовательно и логично раскрывать содержание каждой темы.

## Эффект Ганна



Упрощенная схема образования и движения электрического домена (а); распределение электрического поля в полупроводнике (б) и форма колебаний плотности тока (в). Стрелкой указано направление дрейфа электронов

Рис. 3. Упрощенная схема эффекта Ганна

При создании слайдов учитываются эргономические и методологические требования визуального восприятия информации [8,9].

Кроме того, слайд-лекции отличает еще ряд преимуществ. Прежде всего, это наличие визуально-психологического контакта с лектором, поскольку основным источником информации на лекции выступает преподаватель, а слайды подчинены логике лекции и помогают студентам воспринимать материал и вести конспект. Поскольку кроме слуховых образов студент воспринимает и яркие зрительные, увеличивается степень запоминания и усвоения материала. При этом презентационная лекция достаточно хорошо согласуется с основными закономерностями запоминания [10, 11].

На рисунке 3 изображена копия одного из слайдов из презентационной лекции, иллюстрирующего эффект Ганна.

### Список литературы

1. Дидактика средней школы / Под ред. М.А.Данилова и М.Н.Скаткина. — М.: Просвещение, 1975.
2. Разумовский В.Г. Развитие творческих способностей учащихся. — М.: Просвещение, 1975.
3. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. — М.: Высш. шк., 1991.
4. Ханин С.Д., Хинич И.И. Физические основы курса электроники в педагогическом вузе // Физическое образование в вузах. — 2004. — Т. 10. — № 4. — С. 106–113.
5. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. — Новосибирск, 2000.
6. Цидильковский И.М. Зонная структура полупроводников. — М.: Наука, 1978.
7. Кравченко А.Ф., Овсяк В.Н. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности. — Новосибирск: Изд. НГУ, 2000.
8. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Сов. радио, 1980.
9. Загвязинский В.И. Теория обучения. Современная интерпретация. — М.: Изд. центр «Академия», 2001. — 192 с.
10. Стародубцев В.А., Чернов И.П. Разработка и практическое использование мультимедиа-средств на лекциях // Физическое образование в вузах. — 2002. — Т. 8. — № 1. — С. 86–91.
11. Стародубцев В.А. Компьютерные и мультимедийные технологии в естественнонаучном образовании. — Томск: Дельтаплан, 2002. — 223 с.
12. Андреев В.Н. Психологические аспекты представления информации на экране дисплея в автоматизированных обучающих системах. — М.: Академия, 1991. — 356 с.