

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Ткачук Андрій Іванович** - доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та методики трудового навчання фізико-математичного факультету Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка.

**Ткачук Іван Юрійович** - доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та методики її викладання фізико-математичного факультету Кіровоградського державного педагогічного університету ім. В. Винниченка.

*Наукові інтереси:* організація дослідницької роботи студентів.

## ДО ВИВЧЕННЯ ПИТАННЯ ПРО ЗАРОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ В КУРСІ «ІСТОРІЇ ТЕХНІКИ»

**Сергій РЯБЕЦЬ, Олег ЦАРЕНКО**

*У роботі розглянуто основні етапи розвитку вчення про напівпровідники та узагальнено матеріали про історію створення перших напівпровідникових приладів – діодів та транзисторів.*

*The basic stages of development of studies are in-process considered about semiconductors and materials are generalized about history of creation of the first semiconductor devices - diodes and transistors.*

**Постановка проблеми.** У процесі вивчення дисципліни "Історія техніки" майбутні вчителі технологій ознайомляться з феноменом появи техніки, її розвитком, у взаємозв'язку з історичними та соціально-економічними чинниками. Ця дисципліна формує систему політехнічних знань, дає цілісне уявлення про розвиток техніки як історико-культурного явища, структурує інформаційне поле про досягнення людської думки в різні періоди історії, узагальнює відомості з інших дисциплін.

Програмою курсу «Історія техніки» для педагогічного ВНЗ передбачається вивчення теми «Винайдення радіо та телебачення. Розвиток засобів зв'язку». Однак аналіз даної програми в аспекті цієї теми показав, що на елементній базі радіоелектроніки увага не

акцентується: не розглядаються питання винайдення напівпровідникових діодів, транзисторів, інтегральних мікросхем. Відомі ж публікації [1,2,4,6] не дають можливості в рамках виділеного часу висвітлити такий важливий етап у розвитку сучасних інформаційних технологій, обумовлених взаємозв'язками з умовами розвитку техніки та наукових поглядів минулого, історичними постатями вчених різних країн та їхнім внеском у створення напівпровідникових пристроїв тощо.

**Метою статті** є дослідження основних етапів розвитку вчення про напівпровідники та їх практичне використання для показу студентам педагогічних спеціальностей значення мікроелектроніки та взаємозв'язків розвитку науки і даної галузі техніки.

**Матеріали та результати дослідження.** Початок серйозних досліджень напівпровідникових матеріалів відноситься до 1833 року, коли Майкл Фарадей, працюючи із сульфідом срібла, виявив, що провідність напівпровідників росте з підвищенням температури, на відміну від провідності металів, яка при цьому зменшується. 1873 року американський учений Мей помітив, що при освітленні

селен змінює свою електропровідність, а 1874 року німецький фізик Карл Фердинанд Браун виявив у кристалів сульфиду свинцю уніполярну провідність.

На кінець XIX століття були відомі такі властивості напівпровідників:

1. електропровідність напівпровідників займає проміжне положення між електропровідністю провідників та ізоляторів і сильно змінюється за наявності домішок;

2. поява ЕРС при освітленні напівпровідника;

3. зростання електричної провідності напівпровідника при освітленні;

4. випрямна властивість контакту напівпровідника з металом.

Перший кристалічний детектор, що був сконструйований у 1906 році Пікаром [1], складався з кремнієвого кристала та спіральної контактної пружини з вістря. У цей же час американський військовий інженер Данвуді розробив детектор, в якому використовувався кристал карбиду кремнію, затиснутий між двома латунними утримувачами. Історія зберегла відомості й про виготовлення детекторів на базі галеніту (сульфиду свинцю). Приймач, із застосуванням таких детекторів, спочатку налаштовувався на передавальну станцію, а потім поверхня кристала детектора "зондувалася" вістря контактної спіральної пружини до встановлення "чутливої точки".

Слід зазначити, що ще О.С.Попов використовував детектор-випрямляч в його приймачі з телефонами (конструкція 1899 р.) [2]. Хоча конструкція детектора була дуже схожа на когерер Бранлі (скляна трубка з платиновими виводами, заповнена дрібними сталевими зернами), він не

вимагав струшування, а несиметрична провідність одержувалась із-за шару оксиду на сталі. О.С.Попов пропонував також комбінації сталевих зерен і вугільних електродів, а також детектори, де контактами слугували сталеві, бронзові й інші пружинки від годинникових механізмів. Діодний детектор у той час працював досить нестабільно, приймаючи радіочастотні сигнали, що генерувалися передавачами з іскровим розрядним проміжком. Створені в цей же час вакуумні лампові діоди та тріоди були набагато надійнішими.

У 1907–1910 роках властивості кристалічних детекторів детально досліджувалися Пірсом, Ікклзом, Торикатою та іншими. 1922 року молодий співробітник Нижегородської лабораторії Олег Лосев винайшов кристадин [3]. У цей час у Москві почала працювати центральна радіотелефонна станція, передачі якої можна було приймати на прості детекторні приймачі тільки поблизу столиці. Кристадин Лосева дозволяв не лише збільшити дальність прийому радіостанції, але був простішим і дешевшим, ніж лампові приймачі. Інтерес до кристадину в той час був величезний.

Продовжуючи дослідження кристалічних детекторів, Лосев відкрив свічення карборунда при проходженні через нього електричного струму. Через 20 років це ж явище було відкрите американським фізиком Дестріо та дістало назву електролюмінесценції. Важливу роль в розвитку теорії напівпровідників на початку 30-х років зіграли роботи під керівництвом академіка А. Іоффе [2]. 1931 року він опублікував статтю з пророчою назвою: "Напівпровідники – нові матеріали електроніки". Чималу заслугу з дослідження напівпровідників внесли

радянські учені – Б. Курчатов, В. Жузе та інші. У праці "До питання про електропровідність закису міді" (1932), вони показали, що величина і тип електричної провідності напівпровідників визначається концентрацією і природою домішок. Трохи пізніше відомий фізик Я. Френкель створив теорію збудження в напівпровідниках парних носіїв заряду: електронів і дірок. У 1931 р. англічанину Уїлсону вдалося створити теоретичну модель напівпровідника, засновану на тому факті, що в твердому тілі дискретні енергетичні рівні електронів окремих атомів розмиваються в безперервні зони, розділені забороненими зонами – це був початок створення зонної теорії напівпровідників.

Перший польовий транзистор був запатентований в США 1926 року Лілієнфельдом [1]. Найбільш важлива особливість винаходу Лілієнфельда полягає в тому, що він розумів роботу транзистора на принципі модуляції провідності, виходячи з електростатики. В описі до патенту формулюється, що провідність тонкої області напівпровідникового каналу модулюється вхідним сигналом, що поступає на затвор через вхідний трансформатор.

Наступний період винаходів у транзисторах наступив у 1939 році, коли після трирічних досліджень з твердотілого підсилювача у фірмі "BTL" (Bell Telephone Laboratories), Шоклі був запрошений включитися в дослідження Браттейна з мідноокисного випрямляча. Робота була перервана другою світовою війною, але вже перед від'їздом на фронт Шоклі запропонував дві моделі транзисторів.

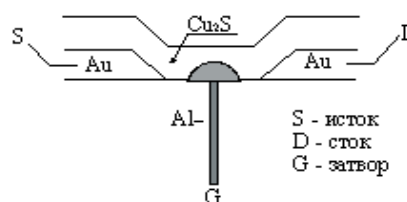


Рис.1. Транзистор за одним із перших патентів № 1900018 Лілієнфельда [1].

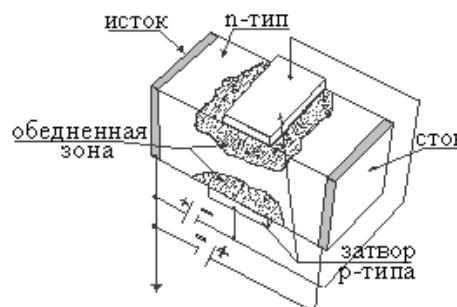


Рис.2. Польовий транзистор Шоклі [4].

У 1952 року Шоклі описав уніполярний (польовий) транзистор з управляючим електродом, який складається з напівпровідникового стрижня n-типу (канал n-типу) з омичними контактами на торцях. Як напівпровідник використаний кремній. На поверхні каналу з протилежних сторін формується р-n-перехід, щоб він залишався паралельним напрямку струму в каналі. Провідність каналу визначають основні носії заряду (у нашому випадку електрони в каналі n-типу). Електрод, від якого носії починають рух, називається виток, а другий омичний електрод, до якого підходять електрони, – стік. Третій вивід від р-n-переходу називають затвором.

Точний опис процесів у польовому транзисторі являє собою певні труднощі. Тому, Шоклі запропонував спрощену теорію уніполярного транзистора, що в основному пояснює властивості цього приладу. При зміні вхідної напруги

(витік-затвор) змінюється зворотна напруга на р-n-переході, що призводить до зміни товщини замикаючого шару. Відповідно змінюється площа поперечного перерізу n-каналу, через який проходить потік основних носіїв заряду, тобто вихідний струм. При високій напрузі затвора замикаючий шар стає все товщим і площа поперечного перерізу зменшується до нуля, а опір каналу збільшується нескінечно і транзистор закривається.

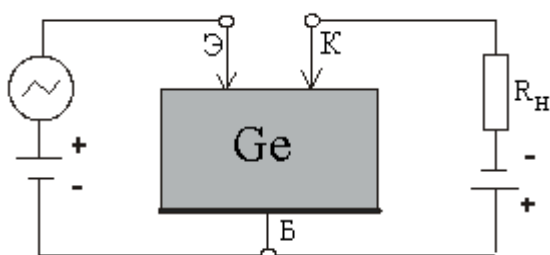


Рис.3. Будова та схема увімкнення першого точкового транзистора Бардіна і Браттейна [2].

Однак технологічні проблеми того часу не дозволили реалізувати й ідею Шоклі.

Винахід транзисторів став знаменною віхою в історії розвитку електроніки і тому його автори Джон Бардін, Уолтер Браттейн і Уільям Шоклі виправдано отримали Нобелівську премію з фізики за 1956 рік.

Насправді, перший успіх було досягнуто ще 23 грудня 1947 року співробітниками лабораторії "BTL" – Бардіним і Браттейном, під керівництвом Шоклі. От як про цей винахід писали самі автори: «Приводиться опис трьохелементного електронного пристрою, що використовує відкритий принцип, який заснований на застосуванні напівпровідника як основного елементу. Пристрій може бути використаний, як підсилювач, генератор і в інших цілях, для яких зазвичай застосовуються вакуумні електронні лампи» [2].

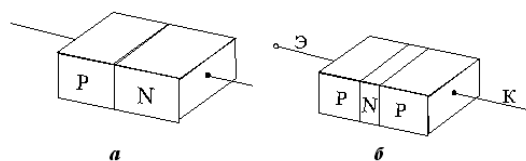


Рис.4. До пояснення теорії Шоклі про площинні діоди та транзистори [2].

Пристрій складається з трьох електродів, розміщених на германієвому монокристалі, як показано на рис.3. Два з цих електродів, що називаються емітером (Э) і колектором (К), є випрямлячами з точковим контактом і розташовуються досить близько один до одного на поверхні напівпровідникового кристалу. Третій електрод, великої площі і маленького радіусу, нанесений на основу – базу (Б). Використовувався монокристал германію n-типу. Принциповим підходом Шоклі було створення напівпровідникового випрямного пристрою з кристалів напівпровідника з різним типом провідності (р- та n-типу). Такий пристрій, названий площинним напівпровідниковим випрямлячем, має малий опір, коли р-область – позитивна відносно n-області (рис.4,а). Характеристики площинного випрямляча можна точно визначити теоретично. В порівнянні з точковим, площинний випрямляч допускає велике навантаження оскільки площу контакту можна зробити досить великою. З іншого боку із збільшенням площі росте шунтуюча контактна ємність. Далі Шоклі розглянув теорію площинного транзистора з кристала напівпровідника, що містить два р-n-переходи (рис.4, б). Позитивна р-область є емітером, негативна р-область колектором, n-область – базою. Таким чином замість металевих точкових контактів використовуються дві р-n-області. У точковому транзисторі два металеві точкові контакти необхідно

було розташовувати дуже близько один до одного, і в площинному транзисторі обидва переходи повинні розташовуватися дуже близько один до одного. Область бази дуже тонка – менше 25 мкм.

Площинні транзистори мають ряд переваг перед точковими: вони доступніші теоретичному аналізу, мають нижчий рівень шумів, забезпечують велику потужність. Для нормальної роботи транзистора, як підсилювача, необхідно щоб на емітер було подано пряме, а на колектор зворотне зміщення, відносно бази. Для р-п-р-транзистора умова відповідає – позитивному емітеру і негативному колектору. Для п-р-п – зворотні полярності тобто негативний емітер і позитивний колектор.

Через низьку надійність електронних ламп і високе їх енергоспоживання потреба в напівпровідникових елементах була насправді виключно великою – особливо з появою перших ЕОМ. Особливо гостро ці проблеми проявилися в багатоламповій апаратурі. Досить сказати, що ЕОМ "ЭНИАК", створена в 1945 році, налічувала 18000 ламп, займала площу 140 м<sup>2</sup>, важила 30 т і споживала 150 кВт електроенергії [2]. Надійність її роботи визначалася лише 3 годинами. Зрозуміло, що в цей період пошуки малогабаритних і високонадійних елементів, здатних замінити електричну лампу, велися в усіх можливих напрямках.

Перші точкові транзистори зустріли холодний «прийом» з боку розробників апаратури, проте на зміну їм незабаром з'явилися площинні транзистори, вільні від недоліків точкових. У порівняно короткий термін вдалося перейти з германію, що не забезпечує застосування транзисторної техніки в умовах високих температур, на стійкіший до температурних впливів кремній. Поява планарної техніки

дозволила підвищити характеристики транзисторів і перейти до групових методів проведення технологічних процесів. Найважливішим наслідком появи планарної технології стала ідея виготовлення на одному кристалі не відокремленого транзистора, а декількох транзисторів, діодів й інших елементів, об'єднаних вже в інтегральну мікросхему. Таким чином, народження транзистора зумовило появу і бурхливий розвиток мікроелектротехніки базою для розвитку обчислювальної техніки і багатьох напрямів електроніки.

Саме в 1958 році Роберт Нойс (Fairchild Semiconductor Corporation) і Джек Кілбі (Texas Instruments) при вирішенні технічного протиріччя «мінімізації місця при максимумі компонентів» практично винайшли ідентичну модель інтегральної схеми. Різниця полягала в тому, що Кілбі скористався германієм, а Нойс віддав перевагу кремнію (патенти 1959 року). А вже у 60-і роки Fairchild Semiconductor Corporation виготовляла чіпи для вільного продажу, які відразу стали використовуватись у виробництві калькуляторів і комп'ютерів замість окремих транзисторів, що дозволило значно зменшити розмір і збільшити продуктивність пристрою.

1968 року Г. Мур, Р. Нойс та Е.Гроув організують фірму Intel. Вони переслідували мету: використати величезний потенціал інтеграції великого числа електронних компонентів на одному напівпровідниковому кристалі для створення нових видів електронних приладів. У 1997 році Ендрю Гроув став "людиною року", а очолювана ним компанія Intel стала виробляти мікропроцесори для 90% усіх персональних комп'ютерів планети.

Аналогічні дослідження зі створення напівпровідникових транзисторів проводились і інші вчені.

Так, фізик В. Лошкар'єв ще в 1946 році відкрив біполярну дифузію нерівноважних носіїв струму в напівпровідниках. Ним же створені перші точкові транзистори на початку 50-х років. Вченими А. Красиловим і С. Мадояном уперше спостерігався транзисторний ефект у 1949 році. Перші розробки германієвих діодів були здійснені теж А. Красиловим в НДІ "Джерело". Лабораторні зразки германієвих транзисторів були розроблені 1950 року Б. Вулом, А. Ржановим, В. Вавіловим та ін. (ФІАН), В. Тучкевичем, Д. Наследовим (ЛФТИ), С. Калашниковим, Н. Пеніним та ін. (ІРЕ АН СРСР) [5].

1963 року Хофштейн і Хайман описали нову конструкцію польового транзистора, де використовується поле в діелектрику, розташованому між пластиною напівпровідника і металевою плівкою [6]. Такі транзистори із структурою метал-діелектрик-напівпровідник називаються МДП-транзистори. У період з 1952 по 1970 роки польові транзистори залишалися на лабораторній стадії розвитку. Стрімкому розвитку польових транзисторів в 70-і роки сприяли три чинники: перший – розвиток фізики напівпровідників і прогрес в технології напівпровідників, що дозволило отримати прилади із заданими характеристиками, другий – створення нових технологічних методів – тонкоплівкові технології для отримання структури з ізольованим затвором і третій – широке впровадження транзисторів в електричне устаткування.

**Висновок.** Наведений історичний та науково-практичний матеріал з історії винайдення найпростіших напівпровідникових приладів і

створення фізичних теорій, що пояснюють їх роботу має сприяти професійно-педагогічному та загальнокультурному формуванню майбутнього вчителя технологій. На наш погляд проведені дослідження не вичерпуються тільки наповненням необхідною інформацією окремо взятої теми з курсу «Історії техніки» для педагогічних ВНЗ, а й для змістовного висвітлення у названій дисципліні інших темах і розділах, а також під час вивчення курсу загальної фізики, основ інформатики.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Члиянц Г. Как "родились" полупроводники//Радиолюбитель. – 2001. – №2. – С.35.
2. Электроника: прошлое, нынешнее время, будущее/ Пер. с англ. под ред. В.И. Сифорова. – М.:Мир; 1980. – 296 с.
3. Острословов Б., Шляхтер И. Изобретатель кристаллина О. В. Лосев// Радио. – 1952. – №5. – с.18–20.
4. Члиянц Г. История создания полупроводниковых приборов // Радиолюбитель. – 2001. №2. – С.35; №3. –С.30.
5. Электроника. Энциклопедический словарь / Гл. ред. В.Г. Колесников. –М.: Сов.энциклопедия, 1991. – 407 с.
6. Очерки истории радиотехники – М. : Издательство АН СССР, 1960. –326 с.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Рябець Сергій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та методики трудового навчання.

*Наукові інтереси* – формування творчо-інтелектуальних здібностей в майбутніх вчителів технологій при викладанні дисциплін технічного циклу.

**Царенко Олег Миколайович** – кандидат технічних наук, професор кафедри фізики та методики її викладання.

*Наукові інтереси* – дидактика фізики вищої школи, проблеми формування наукового світогляду студентів при вивченні професійно-орієнтованих дисциплін.