

UDC 001.32 (075)

**ХРИПУНОВ Г.С.<sup>1</sup>, ХРИПУНОВА А.Л.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізичного матеріалознавства для електроніки та геліоенергетики Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”<sup>2</sup>Кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник кафедри промислової та біомедичної електроніки Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”**ІСТОРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТА АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ФОТОЕЛЕКТРИКИ  
У 50-х РОКАХ ХХ СТОЛІТТЯ**

*У статті проведена історична реконструкція подій, які призвели до інтенсивного розвитку фотоелектрики у 50-х роках ХХ століття. Показано, що об’єктивними передумовами стали досягнення в розробці кремнієвих транзисторів, потреби промисловості в створенні автономних джерел енергії та широка міждисциплінарна кооперація при проведенні наукових досліджень. До суб’єктивних передумов слід віднести наполегливість, працездатність, наукову сміливість та безкорисну взаємодопомогу видатних дослідників Кевіна Фуллера, Джерельда Пірсона та Дарела Чапіна, які розробили фізичні основи конструктивно-технологічних рішень ефективних фотоелектричних перетворювачів на основі кремнію та успішно провели їх практичне апробування.*

**Ключові слова:** об’єктивні та суб’єктивні передумови, наукові дослідження, фотоелектричні перетворювачі на основі кремнію.

**KHRYPUNOV GENNADIY S.<sup>1</sup>, KHRYPUNOVA ALINAL.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Doctor of Science, Professor, Head of the Department materials for Electronics and Solar Cells” of the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”<sup>2</sup>Ph.D., Senior research at the department “Industrial and biomedical electronics” of the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”**HISTORICAL BACKGROUND AND ANALYSIS OF PHOTOVOLTAICS  
IN THE 50-ies OF XX CENTURY**

*This article presents the historical reconstruction of events that led to intensive development of photovoltaics in the 50-ies years of the twentieth century. Experimental and theoretical research in the field of photovoltaic cells to 50-ies years of the twentieth century were analyzed. The role of Edmund Becquerel, Willoughby Smith, William Adams, Richard Day, Charles Fritz, Albert Einstein in the development of physical principles of photovoltaic cells was determined. It was shown that up to 50 years of the twentieth century the development Photovoltaics had a significant impact on the industry as the effectiveness of existing at the time of photovoltaic cells not allow them to compete with electric generators. The objective conditions of photovoltaics were advances in the development of silicon transistors, the industry needs to create autonomous energy sources and a broad interdisciplinary cooperation in scientific research. Perseverance, hard work, courage and unselfish scientific mutual prominent researchers Kevin Fuller, Gerald Pearson and Daryl Chapin are subjective conditions of rapid development photovoltaic. These scientists have withstood the attacks of competitors, disbelief own leadership through effective marketing and development to ensure its implementation and further development of the industry. They developed of the new physical approaches to optimize structural and technological solutions of the efficient photovoltaic cells on the silicon base. Objective and subjective preconditions led to a significant increase in the efficiency of photovoltaic cells on the silicon base compared with existing industrial analogues on the selenium base. It is possible to use photovoltaic cells as energy spacecraft and organize industrial production.*

*Organization of stimulated further improve the efficiency of photovoltaic cells and the search for new fields of application.*

**Keywords:** *objective and subjective prerequisites, research, photovoltaic cells on silicon base.*

**ХРИПУНОВ Г.С.<sup>1</sup>, ХРИПУНОВА А.Л.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физического материаловедения для электроники и гелиоэнергетики Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”

<sup>2</sup>Кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник кафедры промышленной и биомедицинской электроники Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”

## **ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ФОТОЭЛЕКТРИКИ В 50-х ГОДАХ XX ВЕКА**

*В статье проведена историческая реконструкция событий, которые привели к интенсивному развитию фотоэлектрики в 50-х годах XX века. Показано, что объективными предпосылками стали достижения в разработке кремниевых транзисторов, потребности промышленности в создании автономных источников энергии и широкая междисциплинарная кооперация при проведении научных исследований. К субъективным предпосылкам следует отнести настойчивость, трудолюбие, научную смелость и бескорыстную взаимопомощь известных ученых Кевина Фуллера, Джерельда Пирсона и Дарела Чапина, которые разработали физические основы конструктивно-технологических решений эффективных фотоэлектрических преобразователей на основе кремния и успешно провели их практическую апробацию.*

**Ключевые слова:** *объективные и субъективные предпосылки, научные исследования, фотоэлектрические преобразователи на основе кремния.*

20 березня 2015 р. в м. Київ, відбулися заходи щодо підписання угоди між Україною і Європейським Союзом про участь нашої країни у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій “Горизонт 2020”. Для української наукової спільноти наступає новий відповідальний етап інтеграції в європейський науковий простір. Таким чином, для адаптації українських науковців у Рамкову програму в Україні було створено 30 національних консультаційних пунктів. Варто визначити, що не менш важливою задачею є зміна існуючої ментальності українських науковців, які в своїй діяльності роблять акцент на дослідженнях фундаментальних проблем. Сучасні науковці відсторонені від пошуку шляхів практичного використання результатів наукових досліджень, та зовсім не готові до конкурентної боротьби за фінансування наукових проєктів, тому неспроможні проводити ефективний маркетинг своїх розробок тощо.

Історія розвитку фотоелектрики на початку 50-х років XX ст. це не тільки історія розвитку технології, яка згідно з прогнозами експертів фірми ІВМ відноситься до десятки технологій, що будуть здійснювати найбільш суттєвий вплив на розвиток цивілізації у XXI ст. Слід зазначити, що це історія певних осіб, інноваційні ідеї, наполегливість та ризик яких повною мірою призвели до прориву в галузі фотоелектричних перетворювачів, таким чином створивши можливість їх промислового використання в якості автономних джерел енергії космічних апаратів, а згодом і в якості відновлюваних джерел енергії для широкомасштабного наземного використання. Тому це дозволило вирішувати не тільки енергетичні проблеми, а й, в першу чергу, екологічні проблеми, які виникли у людства при використанні традиційних джерел енергії. Багато різних авторів при класифікації періодів розвитку фотоелектричних перетворювачів виділяють цей період як важливий для подальшого розвитку цієї галузі [9, 13, 15]. Вони визначають історичну значимість наукових досліджень фотоелектричних перетворювачів на основі кремнію, які були проведені Кевіном Фуллером, Джерельдом Пірсоном та Дарелом Чапінім в Белл лабораторії (США) у 1950-х роках та стали підґрунтям нової промислової індустрії. Такі фотоелектричні перетворювачі згідно з існуючою сучасною класифікацією відносяться до першого покоління. Згодом

американськими науковцями були розроблені тонкоплівкові фотоелектричні перетворювачі другого покоління, які також знайшли широкомасштабне практичне застосування та поступово, завдяки меншій собівартості, витіснили з ринку фотоелектричні перетворювачі на основі кремнію. Нині активно розробляються принципово нові типи фотоелектричних перетворювачів – наноструктуровані, сенсibilізовані барвниками, що містять квантові точки. При цьому багато скептиків обґрунтовують недоцільність, нереальність та безперспективність широкомасштабного наземного використання новітніх конструкцій фотоелектричних перетворювачів, оскільки вони ще мають низьку ефективність, стабільність й довговічність. Слід зазначити, що наукові дослідження в Белл лабораторії (США) у 1950-х роках є яскравим прикладом, коли безперспективні, за думкою більшості науковців та спеціалістів промисловості того часу, наукові дослідження дали величезні за своїми наслідками практичні результати для розвитку цивілізації.

Враховуючи вищезазначене, метою статті є історична реконструкція та аналіз організації, проведення та комерціалізації наукових досліджень, які призвели до стрімкого розвитку фотоенергетики у 50-х роках ХХ ст., що є актуальним для зміни ментальності українських науковців.

В 1839 р. 19-річним Едмундом Беккереллем був виявлений фотоелектричний ефект при проведенні експериментів з двома посрібленими платиновими електродами, які занурювалися в розведenu кислоту, щоб сформувати акумулятор [10, с.25]. Один з електродів був зафарбований, а другий – освітлений сонячним випромінюванням, що призвело до протікання електричного струму. У 1873 р. Уіллоубі Сміт використав смужки селену, що мали значний електроопір, для тестування електричних кабелів після їх занурювання у воду. В процесі випробувань він виявив фотопровідність селену, яка полягала в зміні електроопору цього напівпровідника під дією світла. У 1976 р. професор Вільям Адамс та його студент Річард Дей визначили, що при освітленні світлом переходу між селеном та платиною відбувається перетворення сонячної енергії в електричну енергію [1, с.114]. Ці два відкриття стали основою конструкції першого фотоелектричного перетворювача на основі селену, який був створений Чарльзом Фріттцем у 1883 р. [8, с.390-395]. Чарльз Фріттц покрити пластину селену надзвичайно тонким шаром золота, який був прозорим для світла. При освітленні світлом фотоелектричного перетворювача була отримана ефективність перетворення сонячної енергії в електричну менш 1%. Оскільки фізика фотоелектричного перетворення залишалась не зрозумілою, то Фріттц звернувся до відомого фахівця Вернера фон Сіменса, який відтворив розроблений фотоелектричний перетворювач та підтвердив існування фотоелектричного ефекту [17, с.514-516]. Це були першопроходці в галузі розроблення фотоелектричних перетворювачів, але вони не мали глибокого розуміння з фізики фото ефекту та не були в змозі покращити ефективність цих приладових структур. У 1904 р. Альберт Ейнштейн перший пояснив фізичні процеси, які обумовлюють перетворення сонячної енергії в електричну [8, с.132-146], а в 1941 р. Раселл Охл запатентував перший фотоелектричний перетворювач на основі кремнію [16]. Низька ефективність фотоелектричних перетворювачів не дозволяла розглядати їх в якості засобів для виробництва електроенергії у великих масштабах. На противагу цьому, застосування ефекту електромагнітної індукції, яка була відкрита в 1831 р. Майклом Фарадеєм, призвело до швидкого розвитку потужних промислових електричних генераторів, які працювали на вугіллі, паровій або водяній силі. Тому на той час дослідження в галузі створення фотоелектричних перетворювачів не вважалися перспективними, оскільки вони не були затребувані суспільством.

На початку 50-х років ХХ ст. в Белл лабораторії (США) розпочалися дослідження щодо можливих застосувань кремнію в електроніці. Американські науковці Кевін Фуллер і Джерельд Пірсон розробляли кремнієвий транзистор, який на теперішній час є одним з основних компонентів сучасної електроніки. При проведенні розробок Феллер, який був хіміком, досліджував як здійснювати контрольоване легування для отримання електропровідного кремнію. В рамках науково-дослідної програми Фуллер дав Пірсону зразок кремнію, що містив малу концентрацію галію. Як зараз відомо, введення тривалентного галію, що є донором по відношенню до

чотиривалентного кремнію, призводить до росту концентрації позитивно заряджених носіїв заряду. Цей зразок був приєднаний електричними проводами до амперметра. Згідно з інструкцією Фуллера, Пірсон занурив зразок легованого кремнію до гарячої ванни з літєм. У результаті електрони літію перейшли до поверхового шару кремнію, що призвело до формування р-n переходу. В одному з експериментів зразок кремнію був освітлений лампою і Пірсон був дуже здивований тим, що у електричному колі почав протікати електричний струм. Можливо на цьому відкритті, як це часто бувало у фізиці, не було б зроблено належного акценту якщо б у цей час інший співробітник компанії Дарел Чапін не працював над проблемою створення невеличких автономних джерел електричної енергії для віддалених районів з високою вологістю. Це було зумовлено тим, що у тропіках традиційні акумуляторні батареї через активовану вологістю деградацію мали дуже короткий термін експлуатації. Для вирішення даної проблеми Чапін почав вивчати можливості застосування вітрових машин, термоелектричних генераторів і малих парових двигунів. Маючи широкий науковий кругозір, Чапін зміг домогтися від керівництва Белл лабораторії, щоб до цих досліджень було включено і вивчення можливостей фотоелектричних перетворювачів. Наприкінці лютого 1953 р. Чапін почав дослідження комерційних зразків селенових фотоелементів. Проте, як засвідчили його експерименти, селенові фотоелементи мали коефіцієнт корисної дії тільки 0,5%. Такі показники не дозволяли вирішити завдання, що стояло перед ним. Оскільки Чапін і Пірсон знали один одного багато років, вони вчилися в одному університеті, то було цілком природно, що Чапін одним із перших дізнався про експерименти Пірсона, та дав йому пораду *“не витрачати час на селен”* [2], а дослідити кремнієві фотоелектричні батареї, які Пірсон випадково виготовив. Тести Чапіна показали, що ці приладові структури мали ефективність у п'ять разів більше, ніж фотоелектричні перетворювачі на основі селену – 2,5%. Зробивши теоретичні розрахунки, Чапін показав можливість досягнення ефективності до 23%. Це дало йому науково-обґрунтовані підстави вважати фотоелектричні перетворювачі на основі кремнію оптимальними для виробництва електричної енергії [3].

З урахуванням поставленого перед Чапіном практичного завдання по створенню автономного джерела електричної енергії фотоелектричні перетворювачі повинні були практично продемонструвати ефективність 5,7%. Проте після кількох місяців напруженої роботи Чапін не зміг перевершити ефективність першого фотоелектричного перетворювача, який виготовив Пірсон. Як вважав Чапін, найбільшою проблемою було формування електричного контакту до кремнію [3, с.23]. Рішенням проблеми було б припаювання контакту до кремнію, але це було не можливо [4, с.35]. Чапін також зіткнувся з проблемою зниження ефективності фотоелектричних перетворювачів у результаті швидкої дифузії літію у приладовій структурі при кімнатній температурі. Тоді він зрозумів, що внаслідок швидкої дифузії р-n перехід зміщувався від освітленої світлом поверхні, що зменшувало кількість фотонів, які поглиналися у шарі кремнію р-типу електропровідності, де відбувається збір електронів, які генеруються під дією світла. Натхнений припущенням, він зрозумів: *“Звісно ж є необхідним, щоб зробити наш р-n бар'єр дуже близько з поверхнею, щоб майже всі фотони стали ефективними в наданні зарядів бар'єру”* [4, с.43]. Таким чином, з'явився один з найважливіших принципів конструктивно-технологічних рішень фотоелектричних перетворювачів на основі кремнію, який був реалізований в усіх наступних приладових структурах. Для обговорення нового принципу Чапін провів консультації з Расселом Охлом, який на початку 1940-х років починав досліджувати кремній та намагався створити фотоелектричні перетворювачі на основі кремнію з ефективністю більш, ніж приладові структури на основі селену [10]. Проте конструктивних ідей щодо можливих шляхів подальшого збільшення ефективності Чапін не отримав. Тому він вирішив продовжити експериментальні дослідження та звернувся за порадою до Фуллера. За два роки до цього, намагаючись розробити транзистор, Фуллер зробив р-n перехід надзвичайно близько до поверхні – саме так, як Чапін мав на увазі. Для створення на поверхні кристалу кремнію шару n-типу електропровідності він осаджував тонку плівку фосфору та шляхом подальшого відпалу здійснював дифузію фосфору

до кремнію р-типу електропровідності. Це призводило до формування р-п переходу поблизу поверхні. Фуллер виготовив кілька подібних лабораторних зразків фотоелектричних перетворювачів для Чапіна, який сподівався, що легування фосфором не тільки покращить стабільність, а й дозволить досягти кращого контакту з кремнієм. Проте місяць подальших випробувань не призвів до покращення ефективності [4, с.53]. Тоді Чапін звернув увагу на високе віддзеркалення від кремнієвої пластини, внаслідок чого суттєво знижується кількість світла, що поглинається в приладовій структурі. Чапін створив покриття, що збільшило відносну кількість світлового потоку, який поглинався у фотоелектричному перетворювачі до 90% [4, с.55]. Це не призвело до збільшення ефективності до 4%, але дозволило визначити другий, не менш важливий принцип конструктивно-технологічних рішень фотоелектричних перетворювачів на основі кремнію, який був реалізований в усіх наступних приладових структурах і полягав в обов'язковому створенні антивіддзеркалюючих покриттів на поверхні приладової структури.

Слід зазначити, що радість дослідника через деякий час поступово зменшилась, оскільки подальше збільшення ефективності не відбувалося. Таким чином, вкотре необхідно було визначити та використовувати новий фізичний підхід для подальшого підвищення ефективності. На цьому етапі необхідно було вирішити проблему формування якісних контактів. Як відмічалось вище, Чапін вже звертався до цієї проблеми, він добре розумів значення контактів для підвищення ефективності, проводив дослідження, проте не зміг їх покращити.

В той час RCA лабораторія (США) оголосила, що її вчені в межах програми щодо мирного використання атомної енергії *“Американський атом для миру”* створили атомний фотоелектричний елемент на основі кремнію, для роботи якого використовуються фотони, що генерують стронцій-90, що є одним з найбільш смертоносних матеріалів радіоактивних відходів. Для демонстрації свого нового винаходу фірма RCA підготувала цілу драматичну виставу в Радіо-Сіті в Нью-Йорку. Давид Сарнов, засновник і президент фірми RCA, спочатку відомий як телеграфіст, який надіслав оголошення всьому світові, що *“Титанік”* затонув, був схильний до театральних ефектів. Він використав фотоелектричну атомну батарею для електроживлення ключів старомодного телеграфу, щоб відправити повідомлення *“Атоми в ім'я миру”*. Згідно з ідеєю фірми RCA, фотоелектричні атомні батареї повинні були в майбутньому забезпечувати електроживлення будинків, автомобілів та локомотивів при використанні радіоактивних відходів, які виробляються на атомних реакторах [12]. Керівництво RCA лабораторії вважало Белл лабораторію своїм найбільшим конкурентом, який заважав отримати державні і приватні інвестиції на розробку фотоелектричної атомної батареї та звужував майбутній сегмент ринку при запровадженні промислового випуску розробки. Тому директор RCA лабораторії розпочав широку кампанію для дискредитації фотоелектричних перетворювачів на основі кремнію, які працюють від сонячної енергії та не потребують атомних джерел фотонів: *“Кому потрібна сонячна енергія? Подивіться, що у нас дійсно є перетворювач відходів”* [11]. Таку демагогію, де використано загальнолюдську стурбованість щодо розповсюдження ядерної зброї проковтнула газета New York Times. У номері від 31 січня 1954 р. запроваджене лабораторією RCA *“шоу”* було назване *“пророчим і пророкуючим широку доступність ядерної батареї в недалекому майбутньому”*, підкреслено, що *“немає теоретичних причин, чому навіть зараз ми не повинні мати слухові апарати і наручні годинники, які працюють безперервно протягом всього життя людини”* [6, с.23]. Реклама RCA призвела до того, що керівництво Белл лабораторії почало тиснути на дослідників, які розробляли фотоелектричні перетворювачі на основі кремнію, щоб вони продемонстрували прогрес у збільшенні їх ефективності.

На щастя Фуллер винайшов абсолютно новий спосіб зробити кремнієві фотоелектричні перетворювачі. Для створення контактів він прорізав у круглій пластині кремнію довгі вузькі смуги, розміри яких співпадали з розмірами найефективніших фотоелектричних перетворювачів, розроблених Чапіном. Згодом він повністю змінив конфігурацію фотоелектричного перетворювача. Замість базового шару р-типу електропровідності, як у попередніх фотоелектричних перетворювачах Чапіна, він використав базовий шар легований миш'яком п-типу електропровідності. Для створення поверхневого та тонкого шару р-типу була використана

контрольована дифузія бору з тонкого покриття, що був нанесений на поверхню пластини. При такій зміні конфігурації фотоелектричного перетворювача існуючі електричні контакти виявилися більш ефективними. Дослідник Чапін для нових типів фотоелектричних перетворювачів сформував антивідзеркаючі покриття та провів вимірювання ефективності. В результаті на початку 1954 р. були отримані зразки з ефективністю близько 6%. Таким чином, мета розробки, яка була поставлена раніше, була досягнута [5, с.93-98].

Винахідники провели маркетинг своєї розробки. Чапін, Фуллер і Пірсон побудували фотоелектричний модуль на основі кремнію і використовували його в якості джерела живлення мотору, роботу якого вони продемонстрували на прес-конференції. 25 квітня 1954 р. для демонстрації можливостей фотоелектричних перетворювачів на основі кремнію широкій громадськості для електроживлення 21-дюймового колеса огляду було застосовано потужний фотоелектричний модуль [18, с.176]. На наступний день вчені продовжили демонстрацію на засіданні Національної академії наук США у Вашингтоні, де вони застосували розроблені фотоелектричні перетворювачі для електроживлення системи радіомовлення. Газета New York Times на першій сторінці заявила, що було побудовано перший фотоелектричний перетворювач, який може генерувати значну кількість енергії. Було акцентовано увагу на тому, що *“розробка Чапіна, Фуллера і Пірсона може ознаменувати початок нової ери, яка в кінцевому підсумку дозволить реалізувати одну з найзаповітніших мрій людства – приборкання майже безмежної енергії сонця для використання цивілізацією”* [14, с.313-319].

Широкий громадський резонанс призвів до того, що промислові компанії почали фінансувати роботи по підвищенню ефективності фотоелектричних перетворювачів. У 1957 р. фірма Хоффман Електронік представила фотоелектричний перетворювач на основі кремнію з ефективністю 8%. Рік потому та ж компанія представила фотоелектричний перетворювач з ефективністю 9%. Американські військові вчені почали досліджувати можливість використання фотоелектричних перетворювачів для енергоживлення космічних апаратів на орбіті. Оскільки фотоелектричні перетворювачі були спроможні виробляти електрику протягом багатьох років, то вони мали незаперечну перевагу перед традиційними акумуляторами, які спроможні виробляти електричну енергію протягом кількох тижнів. У 1958 р. були проведені дослідження радіаційної стійкості фотоелектричних перетворювачів на основі кремнію. 17 березня 1958 р. був запущений перший супутник Vanguard I, для системи живлення якого були використані фотоелектричні перетворювачі, що продемонстрували безперервну роботу протягом 8 років. Це стимулювало науковців для подальшого підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів до 10%, що було зроблено фірмою Хоффман Електронік у 1959 р. В цей час почалося промислове виробництво фотоелектричних перетворювачів для космічного застосування. До 1972 р. було виготовлено більш 1000 супутників, електроживлення яких здійснювалося фотоелектричними перетворювачами. При цьому у 1960 р. ефективність перетворювачів була збільшена до 14%. Окрім того, стали знаходитися й інші перспективні галузі використання цих пристроїв в якості автономних джерел енергії телефонних станцій, електромобілів, маяків тощо.

Таким чином, проведена історична реконструкція подій, що призвели до інтенсивного розвитку фотоелектрики у 50-х роках ХХ ст., дозволила встановити наступні об’єктивні та суб’єктивні передумови. Незважаючи на суттєві експериментальні та теоретичні досягнення, розвиток фотоенергетики до 50-х років ХХ ст. не мав значного впливу на промисловість, оскільки ефективність існуючих на той час фотоелектричних перетворювачів не дозволяла їм конкурувати з електричними генераторами. Об’єктивними передумовами розвитку фотоелектрики стали досягнення в розробці кремнієвих транзисторів, потреби промисловості в створенні автономних джерел енергії та широка міждисциплінарна кооперація при проведенні наукових досліджень, що призвела до суттєвого підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів на основі кремнію в порівнянні з існуючими промисловими аналогами на основі селену. До суб’єктивних передумов слід віднести наполегливість, працездатність, наукову сміливість та безкорисну взаємодопомогу видатних дослідників Кевіна

Фуллера, Джерельда Пірсона та Дарела Чапіна, які витримали нападки конкурентів, зневіру власного керівництва та завдяки ефективному маркетингу розробки забезпечили її впровадження у промисловість й подальший розвиток.

Проведений історичний аналіз висвітлив типові для розвинутих країн світу взаємовідносини між промисловістю і наукою. Слід зазначити, що перспективні наукові розробки, які виникають через потреби промисловості, на перших етапах базуються в основному на ентузіазмі наукових дослідників, які поряд з вирішенням наукових задач, повинні знайти джерела фінансування своїх розробок. Проте після перших позитивних результатів і ефективного маркетингу перспективні розробки дуже швидко отримують необхідне фінансування для впровадження в промисловість. Успішна комерціалізація результатів наукових досліджень, в свою чергу, стимулює промисловість до подальшого фінансування наукових досліджень для підвищення технічних параметрів виробів та пошуку інших сегментів ринку для впровадження наукової розробки, що є необхідним для підвищення прибутку та перемоги в конкурентній боротьбі з іншими виробниками.

1. *Adams W.* The action of light on selenium / W. Adams. and R. Day // Proceedings of the Royal Society of London. – 1879. – № 25. – P.113-117.
2. *Chapin D.* Letter to Robert Ford / D. Chapin // AT&T Media Relations, Bell Laboratories, Murray Hill, NJ. – 1994. – № 12.
3. *Chapin D.* // Progress Report for March and April. – 1953. – Vol.1730. – P.11-30.
4. *Chapin D.* Energy from the Sun / D. Chapin // New York: Bell Telephone Laboratories. 1962. – 56 p.
5. *Chapin D.* Construction of Power Photocells / D. Chapin // Coversheet for Technical Memorandum. 1954. – 2 March. – №9. – P.54-131.
6. *Editorial.* Nuclear Energy // New York Times, 1954. – 27 January. – 26 p.
7. *Einstein A.* Ueber ein die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffend enheuristischen Gesichtspunkt // Annalen der Physik. 1905. – № 17. – P.132-148.
8. *Fritts C.* On the Fritts selenium cell and batteries / C. Fritts // Van Nostrands Engineering Magazine. – 1885. – № 32. – P.388-395.
9. *Haynos J.* The Comsat non-reflective silicon solar cell: a second generation improved cell / J. Haynos, J. Allison, R. Arndt, A. Meulenberg // International Conference on Photovoltaic Power Generation. – Hamburg. – 1974. – P.487-490.
10. *Kingston E.* Photoelectric Properties of Ionically Bombarded Silicon / E. Kingston and R. Ohl // The Bell System Technical Journal. – 1952. – № 3. – P.14-18.
11. *Kaemfert W.* First Direct Use of Atomic Energy Puts Up Electrical Current, Small but Prophetic / W. Kaemfert // Science in Review, New York Times. – 1954. – 31 January – № 4. – 9 p.
12. *Laurence W.* RCA Demonstrates Atomic Battery... / W. Laurence // New York Times. – 1954. – 27 January. – №1. – Column 4.
13. *Lindmayer J.* The violet cell: an improved silicon solar cell / J. Lindmayer, J. H. Allison // Proceedings 9th IEEE Photovoltaic Specialists Conf. – 1972. – P.83-90.
14. *Mandelkorn J.* Fabrication and characteristics of phosphorus-diffused silicon solar cells / J. Mandelkorn, C. McAfee, J. Kesperis, W. Pharo, L. Schwartz // Electrochemical Society. – 1962. – Vol. 109. – P.313-322.
15. *Moller H.J.* Semiconductors for solar cells / H.J. Moller. – Boston: Artech House, 1993.
16. *Ohl R.* Light sensitive electric device / R. Ohl // US Patent. – 1941. – P.240-266.
17. *Siemens W.* Discovered by Mr. Fritts, of New York / W. Siemens // Van Nostrands Engineering Magazine. – 1885. – № 32. – P.514-516.
18. *Smith K.D.* The Solar Cells and their Mounting / K.D. Smith, H.K. Gummel, J.D. Bode, D.B. Cuttriss, R.J. Nielson and W. Rosenzweig // Bell Systems Technical Journal. – 1963. – Vol. 41. – P.176-181.

---

Отримано 15.03.2015