

УДК 621.382

М. А. Філінюк, д. т. н., проф.

## ДО 20-РІЧЧЯ НАУКОВОГО НАПРЯМУ «НЕГАТРОНІКА»

Статтю присвячено 20-річчю наукового напрямку в області електроніки — негatronіці. Загальну теорію негatronіки формалізовано завдяки введенню поняття: негативні опори, ємності й індуктивності, визначенню причинно-наслідкових зв'язків і ролі позитивних і негативних зворотних зв'язків, що лежать в основі роботи негatronа поза залежністю від його фізичної основи. Це дозволяє розширити пошук і відкривати нові види негatronів, областей їхнього застосування, формулювати і створювати нові піднапрями негatronіки, в тому числі, і ті, що виходять за рамки електроніки. Наприклад, економічна негatronіка, біонегatronіка та ін.

У 2005 році виповнюється 20 років науковому напрямку в області електроніки — «Негatronіка» [1]. Біля витоків цього напрямку стояв інженер Нижегородської радіолабораторії Олег Валентинович Лосев, який у результаті проведених ним досліджень, знайшов відхилення від закону Ома на ділянці ВАХ напівпровідникового кристала. Це відкриття в даний час розглядається багатьма вченими, як початок «Ери напівпровідникової електроніки». Молодий учений не тільки вперше одержав на ВАХ діода спадну ділянку і дав визначення поняттю «негативний опір», але й реалізував з використанням такого діода регенеративний приймач — кристадін [2]. Ці результати привернули увагу багатьох фахівців світу. У США журнал «Radio News» помістив у вересневому номері редакційну статтю під заголовком «Сенсаційний винахід». У ньому говорилося: «Немає потреби доводити, що це — революційний винахід. Незабаром ми будемо говорити про схему з трьома або шістьма кристалами, як ми говоримо тепер про схему з трьома або шістьма підсилювальними лампами. Потрібно буде декілька років для того, щоб генерувальний кристал удосконалився настільки, щоб стати кращим ніж вакуумна лампа, але ми пророкуємо, що такий час настане». У цьому пророкуванні не виправдалися тільки терміни. Електронні прилади зі спадною ділянкою на ВАХ надалі одержали назву «негatronи», а напрям електроніки пов'язаний з теорією і практикою їхнього застосування було сформульовано в 1985 році, як «Негatronіка» [1].

Успішний розвиток електронно-вакуумних приладів на певному етапі відвернув увагу фахівців від цього напрямку. І тільки винахід у 1932 році Д. А. Ржавським і А. Н. Арсеньєвою пролітного клістрона, а в 1936(37) Н. Ф. Алексєєвим і Д. С. Маляровим — багаторезонаторного магнетрона, стало подальшим поштовхом розвитку вакуумної негatronіки. У цих приладах, і пізніше у винайдених лампах біжучої (ЛБВ) і зворотної (ЛЮВ) хвиль, у результаті взаємодії електронів з електромагнітними полями, відбувається перетворення кінетичної енергії електронів в енергію електромагнітного поля і, як наслідок, поява негативного опору [3]. Значний внесок у створення таких приладів зробили Н. Д. Дев'ятков, М. С. Нейман, С. Д. Гвоздовер, В. Ф. Коваленко, М. Т. Грехова, Ю. А. Кацман, С. А. Зусманов, І. В. Лебедев та ін.

Освоєння НВЧ діапазону обумовило пошук нових фізичних ефектів і напівпровідникових приладів, що мають негативний опір. Зусилля насамперед були спрямовані на створення напівпровідникових негatronів, що мають негативний опір на надвисоких частотах у НВЧ діапазоні. Початком пошуку шляхів створення таких НВЧ-приладів було покладено роботою Шоклі, опублікованої в 1954 році [4]. Автор висунув ряд ідей створення напівпровідникових негatronів НВЧ діапазону, що використовують різні фізичні механізми. Ці ідеї значно пізніше були реалізовані в діодах Ганна (1963) [5] і інжекційно-пролітних діодах (1971) [6].

Досліджуючи ефект тунелювання через вузький збіднений шар р-п переходу, японський фізик Есакі в 1957 році винайшов тунельний діод [7]. У 1958 році Рід [8] запропонував використовувати для генерації НВЧ потужності діод з багатошаровою структурою, на клемах якого, внаслідок прояву ефектів часу прольоту та ударної іонізації, виникає негативний опір. Втілити в життя свою ідею йому вдалося тільки в 1964 році. Але внаслідок складності реалізації, його діод не знайшов практичного застосування. Незалежно від цих робіт у СРСР діоди, що використовують аналогічні ефекти, були відкриті А. С. Тагером і його співробітниками в 1959 році й одержали найменування «лавинопролітні діоди» [9].

Усі вищерозглянуті діоди з негативним опором призначені для роботи в діапазоні НВЧ і здатні працювати з відносно невеликими значеннями потужності сигналу і робочих струмів.

На низьких частотах в області негatronіки широке застосування одержали чотиришарові р-п-р-п структури (диністори, тиристори та ін.) [10] і лавинні транзистори [11], що мають на певній ділянці ВАХ негативний диференційний опір.

Технологічні методи створення планарних напівпровідникових приладів досягли високої досконалості. Тому негatronи з р-п переходом мають відносно високу надійність і відтворюваність. Однак процес їх виготовлення трудомісткий, оскільки потребує від двох до чотирьох високотемпературних процесів окислення і дифузії, і відповідної кількості процесів фотолітографії. Ці недоліки відсутні в негatronів на базі аморфних і полікристалічних напівпровідникових плівок. Дослідження в цьому напрямку активно ведуться в Азербайджанській науковій школі під керівництвом професора Ф. Д. Касімова [12], де в 1991 році була проведена 1-а Всесоюзна науково-технічна конференція з негatronіки [13].

Загальним істотним недоліком усіх вищерозглянутих напівпровідникових негatronів є залежність їх негативного опору від фізичних властивостей напівпровідникових кристалів і фізичних процесів у них. А прагнення реалізувати стовідсотковий внутрішній позитивний зворотний зв'язок всередині кристала накладає жорсткі вимоги до технології виготовлення таких негatronів, ускладнює виробництво відповідних приладів і подальше їх застосування. Ці труднощі створення транзисторних негatronів були частково усунені шляхом реалізації комбінованого стовідсоткового позитивного зворотного зв'язку: частково внутрішнього, за рахунок тимчасової затримки носіїв у базі транзистора; частково за рахунок введення кола зовнішнього зворотного зв'язку. Початком цього напрямку, можна вважати 1956 р., коли Ямагучі (J. Yamaguchi) досліджував негatron на транзисторі з загальним колектором і низькодобротним індуктивним колом зворотного зв'язку між базою і колектором [14]. В подальшому були досліджені різні модифікації такого негatronа, що одержав найменування «індуктивний транзистор», тому що він виявився перспективним як напівпровідниковий аналог індуктивності. Слід зазначити успішне застосування цього негatronа в різних аналогових НВЧ пристроях (активних фільтрах, генераторах, перетворювачах частоти, мультиплексорах, активних антенах тощо). Основи проектування таких пристроїв були закладені в роботах Ділла (H. Dill) [15], Адамса і Хо (D. K. Adams, R. Y. C. Ho) [16] та ін. Систематизація й подальший розвиток цього наукового напрямку зроблено автором статті в роботах [12, 17], де запропоновано розглядати транзистор як узагальнений перетворювач імітанса, і обґрунтований фізичний механізм виникнення динамічного негативного опору на його клеммах.

Іншим напрямком негatronіки, спрямованим на подолання недоліків однокристалічних напівпровідникових негatronів, є створення аналогів негatronів на базі різних схемотехнічних комбінацій активних приладів. Очевидно, однією з перших робіт у цьому напрямку є монографія С. А. Гаряїнова і І. Д. Абергауза [10], опублікована в 1966 р. Подальший розвиток цей напрямок одержав в широко відомих роботах Х. Стедлера [18], Л. Н. Степанової зі співавторами [19], О. Н. Негоденко [20], Нільсона й Уїльсона та ін. Розвинута в роботах цих авторів теорія синтезу аналогів статичних негatronів N- і S-типу дозволила створити велику кількість різних схемотехнічних рішень для широкого класу як аналогових, так і цифрових електронних пристроїв різного функціонального призначення. Однак використання в таких схемах перехресних зв'язків обмежує їх застосування частотами до 1 ГГц.

Розглянуті негatronи відносяться до R-негatronів, тобто тих, що мають негативний активний диференційний опір. Як видно з вище наведеного аналізу, вони в даний час знаходять широке практичне застосування, особливо в техніці НВЧ і силовій електроніці. Зокрема, з бурхливим розвитком твердотільної НВЧ електроніки особливо гостро встала задача мініатюризації частотно-вибіркових кіл. Розв'язання цієї задачі шляхом використання об'ємних резонаторів, відрізків лінії передачі, сегнетоелектричних і феритових резонаторів неможливе, тому що їх добротність падає зі зменшенням розмірів. Коливальні контури на базі негatronів не мають таких недоліків, що дозволяє розміщувати в одному кристалі декілька десятків високодобротних коливальних контурів (фільтрів, LC-генераторів і тощо). Ці можливості були доведені ще в 80-ті роки [17]. Однак, очевидно через відсутність інформації, у ряді країн проведені в цьому напрямку у даний час дослідження, розглядаються як «нові» [21, 22].

Крім R-негatronів ведуться дослідження зі створення і застосування C- і L-негatronів. Це прилади, або їхні схемотехнічні аналоги, що мають за певних умов негативну диференційну ємність  $C = \partial Q / \partial U < 0$  або індуктивності  $L = \partial \Psi / \partial I < 0$ , згідно з [23]. Практичне застосування таких

негатронів у даний час не отримало широкого поширення і вимагає подальших досліджень і пошуку напрямів їхнього ефективного використання.

В даний час в області негатроніки починає формуватися ряд піднапрямів [24]: оптонегатроніка, акустонегатроніка, біонегатроніка. Основи оптонегатроніки також були закладені О. В. Лосевим, який у 1927 році зробив ще одне відкриття. Експериментуючи з детектуючим контактом «карборунд—сталевий провідник», він знайшов на його стикку слабе світіння.

Молодий талановитий дослідник не пройшов повз незвичайне явище, не відніс його до розряду випадкових, а навпаки, звернув найпильнішу увагу, передбачив, що воно ґрунтується на ще невідомому експериментальній фізиці принципі. Він почав проводити систематичні дослідження цього ефекту на різних матеріалах, у різних температурних режимах. Так трохи більше 70 років тому, ним було зроблено ще одне перспективне відкриття електроніки — електролюмінісценція напівпровідникового переходу.

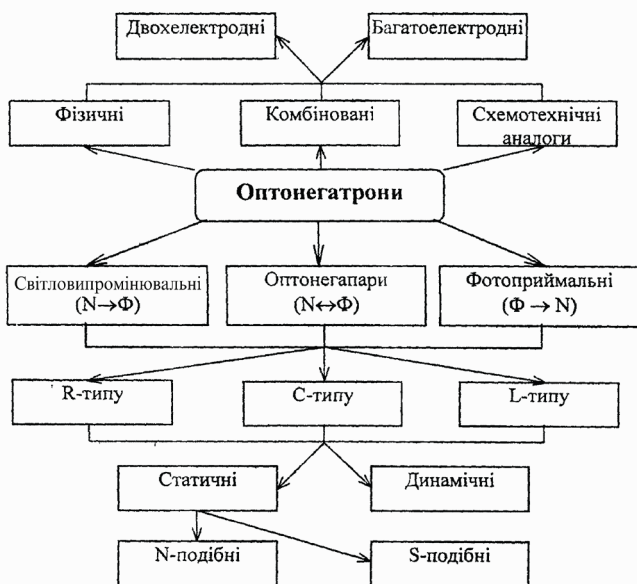
9 березня 1927 року результати досліджень були повідомлені на науковому семінарі (на лабораторній бесіді, як називали ці заходи в ті роки), та в цьому ж 1927 році були опубліковані в п'ятому номері журналу «ГіТбп» у статті «Карборундовий детектор, що світиться і детектування з кристалами» [25]. Експериментуючи з різними сортами кристалів і контактними дротами, О. В. Лосев робить два найважливіших висновки: світіння відбувається без виділення тепла, тобто є «холодним», інерція виникнення і згасання світіння неймовірно мала. Тепер відомо, що ці характеристики світіння, відмічені в 20-ті роки, є найважливішими для сучасних світлодіодів, індикаторів, оптронів, випромінювачів інфрачервоного світла.

Майже через 20 років це явище було знову «відкрите» в Америці, але не в карборунді, а в деяких кристалософфорах відомим вченим Дестріо, що запропонував для нього назву «електролюмінісценція». Дестріо, проте, із самого початку відзначив у своїй публікації пріоритет О. В. Лосєва і в Америці світіння карборунду отримало назву «Losev-light» — «Світіння Лосєва» [26]. І за кордоном, і в СРСР робилися спроби його практичного застосування. Сам Лосєв одержав патент на пристрій «Світлове реле» [27], але недостатній в той період розвиток теорії твердого тіла і майже повна відсутність напівпровідникової технології не дозволили за життя вченого знайти практичне застосування роботам з електролюмінісценції. Власне кажучи, вони відносилися до проблем майбутнього і до них дійшла черга лише через 20—30 років.

Практичне застосування ефекту світіння О. В. Лосєва почалося наприкінці п'ятдесятих років. Цьому сприяло освоєння напівпровідникових приладів: діодів, транзисторів, тиристорів. Не напівпровідниковими залишалися тільки елементи відображення інформації — громіздкі і ненадійні. Тому у всіх розвинених у науково-технічному відношенні країнах йшла інтенсивна розробка напівпровідникових світловипромінювальних приладів. У результаті була створена велика кількість різних світловипромінювальних діодів, цифролітерних і матричних індикаторів, модулів твердотільних екранів і табло [28].

Вчений випередив своїх сучасників. Його заслуга не тільки у відкритті детекторного світіння і генерації електромагнітних коливань з використанням напівпровідникового діода, але, головним чином, в тому, що своїми дослідженнями він так гостро поставив проблему, що продовження робіт у цих областях стало неминучим. Так завдяки інтуїції і наполегливості О. В. Лосєва зародилися нові напрями електроніки — напівпровідникова оптоелектроніка і негатроніка.

Науковий напрям, що знаходиться на стику цих двох фундаментальних напрямів електроніки



Узагальнена класифікація оптонегатронів

уже молодий науковий напрямок і його досягнень оптоелектроніка і негатроніка. Основою розвинених властивостей напівпровідникових негатронів зображена на рисунку.

Увага в [29], але враховує здатність негатронів — світловипромінювальні оптонегатрони; режимі оптопари — коли світловипромінювач, диференційний опір.

пристроїв на їхній основі неможливе без відповідкають деякі труднощі використання стандартної тронів і пристроїв на їхній основі. Це стало притійких електронних приладів і пристроїв на їхній іесли учені Вінницького національного технічного результати у вимірюванні фізичних параметрів не-

гатронів [31], інваріантного коефіцієнта стійкості [32], максимально-досяжного негативного опору [33], імітансних параметрів [34], максимально-досяжного коефіцієнта стійкого посилення  $k_{ms}$  [35] та ін.

В даний час негatronіка сформувалася як самостійний науковий напрям, результати досліджень у якому набули широкого застосування. Організаційно цей науковий напрям об'єднав вчених країн СНД у міжнародному координаційному центрі з проблеми «Негatronіка», організованому у Вінницькому політехнічному інституті в 1986 році, до складу якого увійшли такі відомі вчені, як професори В. С. Андреев, Л. Н. Біberman, С. А. Гаряїнов, В. П. Д'яконов, Ф. Д. Касімов, О. Н. Негоденко, Л. Н. Степанова, А. С. Тагер, Ю. Л. Хотунцев, М. А. Філінюк та ін. Значний внесок у становлення цього напрямку внесли всесоюзні наукові школи-семінари «Прилади з негативним опором у радіоелектронних пристроях», проведені на ВДНГ СРСР під керівництвом проф. Гаряїнова С. А. і перша Всесоюзна НТК «Прилади з негативним опором і інтегральні перетворювачі на їхній основі», проведена в 1991 році у м. Баку під керівництвом проф. Філінюка М. А. і проф. Касімова Ф. Д. Остаточним утвердженням «Негatronіки», як самостійного наукового напрямку стала опублікована Російською академією наук монографія колективу авторів «Негatronіка» [36]. У 2005 році відзначається 10-річний ювілей її видання. За минулі 20 років вченими країн СНД проводилися інтенсивні дослідження в області негatronіки, за результатами яких була захищена велика кількість кандидатських і низка докторських дисертацій (Касімов Ф. Д., Степанова Л. Н., Молчанов П. А., Кичак В. М., Осадчук О. В. та ін.) [37—41]. Ними підготовлено і видано ряд монографій [12, 36, 42—48], які спільно з монографіями, що стали вже класичними [10, 11, 17, 19, 20, 49—51], є базою для подальшого розвитку негatronіки.

Розвиток електронних інформаційних мереж дозволило активізувати роботу центра й обмін інформацією. З цією метою Л. Б. Лишинською створений інформаційний сайт «Міжнародний координаційний центр Негatronіка» [52] і отримано електронну адресу центру: <http://dl.kpi.kharkov.ua/albom/02/works/lis/>.

Найважливішим етапом діяльності центру і розвитку негatronіки було введення вперше в світі в навчальний процес Вінницького державного технічного університету в 2002 році навчального курсу «Основи негatronіки» з випуском для студентів ряду навчальних посібників [53, 54]. В даний час цілком або частково цей курс читається в Національному технологічному університеті Поділля (м. Хмельницький), у Таганрозькому університеті радіоелектроніки (Росія) і в Бакинському технічному університеті (Азербайджан).

Простежити роль різних учених і наукових шкіл у становленні й розвитку негatronіки дозволяє наведена нижче коротка хронологія [55]:

10.05.1903 р. — у Твері народився основоположник негatronіки О. В. Лосєв.

13 січня 1922 р. — О. В. Лосєвим виявлена спадна ділянка на ВАХ напівпровідникового кристала.

Лютий 1922 р. — О. В. Лосєв передав у журнал «ТіТбп» свою історичну статтю про генераторні властивості деяких кристалів [2].

9 березня 1922 р. — перше публічне повідомлення О. В. Лосєва на 36-й лабораторній бесіді НРЛ про спостереження й можливість застосування негативного активного диференційного опору напівпровідникового кристала.

Травень 1923 р. — О. В. Лосєв виготовив перший технічний зразок приймача-гетеродина з кристалічним детектором (початок ери напівпровідникової електроніки).

1932 р. — Д. А. Рожанським і А. Н. Арсенєвою винайдений підсилювальний вакуумний негatron — пролітний клістрон.

1936 р. — Н. Ф. Алексєєвим і Д. Е. Мадьяровим винайдений генераторний вакуумний негatron — багаторезонаторний магнетрон.

1938 р. — учена рада Ленінградського політехнічного інституту по представленню академіка А. Ф. Іоффе присудив О. В. Лосєву учений ступінь кандидата фіз.-мат. наук за сукупністю опублікованих робіт без захисту дисертації.

7 травня 1952 р. — наукова сесія Всесоюзного науково-технічного товариства ім. А. С. Попова прийняла рішення про видання наукових праць О. В. Лосєва.

1954 р. — W. Shockley опублікував статтю, де сформулював принципи створення ряду напівпровідникових негatronів [4].

1956 р. — J. Yamaguchi запропонував і досліджував комбінований динамічний негatron на біполярному транзисторі [14].

1957 р. — японський фізик L. Esaki винайшов тунельний діод [7].

- 1958 р. — W. T. Read винайшов діод, згодом названий його ім'ям (діод Ріда, реалізований у 1964 р.) [8].
- 1959 р. — А. С. Тагер зі співробітниками одержав диплом на відкриття лавино-пролітного діода [9].
- 1961 р. — Н. Dill досліджував «індуктивний транзистор» у лавинному режимі [15].
- 1963 р. — J. B. Gunn винайшов діод, згодом названий його ім'ям (діод Ганна) [5].
- 1969 р. — D. K. Adams, R. Y. C. Но застосували комбінований транзисторний динамічний негatron в активних НВЧ-пристроях [16].
- 1970 р. — С. А. Гаряїнов і І. Д. Абезгауз опублікували монографію, де сформулювали найважливіші теоретичні положення негatronіки [10].
- 1971 р. — видано збірник наукових праць О. В. Лосєва «У истоков полупроводниковой техники» [55].
- 1971 р. — створено інжекційно-пролітний діод.
- 1971 р. — F. Bening опублікував монографію з основами теорії кіл з R-, L-, C-негатронами [23].
- 1973 р. — В. П. Д'яконов опублікував монографію з теорії лавинних транзисторів [11].
- 1981 р. — В. І. Стафєєв, К. Ф. Комаровських, Г. І. Фурсін опублікували монографію з застосування статичних негatronів S-типу у функціональній схемотехніці [49].
- 1985 р. — сформовано науковий напрям «Негатроніка» [1].
- 1986 р. — при Вінницькому політехнічному інституті організований міжнародний координаційний центр з проблеми «Негатроніка», до складу якого ввійшли Андрєєв В. С., Біberman Л. Н., Гаряїнов С. А., Д'яконов В. П., Касімов Ф. Д., Негоденко О. Н., Степанова Л. Н., Тагер А. С., Філинюк М. А., Хотунцев Ю. Л. і ін.
- 1987 р. — опубліковано монографію М. А. Філинюка «Активні НВЧ фільтри», яка узагальнила теорію і практику створення радіоелектронних схем на базі комбінованих транзисторних динамічних негatronів [17].
- 1991 р. — під керівництвом Філинюка М. А. і Касімова Ф. Д. у м. Баку проведено першу Всесоюзну науково-технічну конференцію з негatronіки.
- 1995 р. — Російською академією наук опубліковано монографію А. Н. Серйознова, Л. Н. Степанової, С. А. Гаряїнова, С. В. Гагіна, О. Н. Негоденка, М. А. Філинюка, Ф. Д. Касімова «Негатроніка», що остаточно затвердила негatronіку як один з напрямів електроніки [36].
- 1999 р. — опубліковано коротку історію розвитку наукового напрямку «Негатроніка» [29].
- 2001 р. — сформульовано піднапрямок негatronіки — «Оптонегatronіка» [56].
- 2002 р. — у навчальний процес Вінницького державного технічного університету введений курс «Основи негatronіки».

### Висновки

Слід зазначити, що загальна теорія негatronіки формалізована завдяки введенню понять негативні опори, ємності й індуктивності, визначенню причинно-наслідкових зв'язків і ролі позитивних і негативних зворотних зв'язків, що лежать в основі роботи негatronа поза залежністю від його фізичної основи. Це дозволяє розширити пошук і відкриття нових видів негatronів, області їхнього застосування, формулювання і створення нових піднапрямів негatronіки, в тому числі і тих, що виходять за рамки електроніки. Наприклад: «Економічна негatronіка» [57], «Біонегatronіка» [58] і т. д.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Філинюк Н. А. Перспективы развития динамической негatronики // Тр. Всесоюзного научно-технического семинара «Приборы с отрицательным сопротивлением». — М.: ВДНХ, 1985. — С. 6—7.
2. Лосєв О. В. Детектор-генератор; детектор-усилитель. - ТиТбп. 1922. — № 14, — С. 374—386.
3. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. // Т. 2: Электроракумные приборы СВЧ / Под ред. Н. Д. Девяткова. — М.: Высшая школа, 1972.
4. Shockley W. Negative resistance arising from transit time in semiconducting diodes — // Bell System Tech. J. — 1954. — V. 33. — P. 799—826.
5. Gunn J B. Microwave oscillations of current in III—V semiconductors // Solid state commun. — 1963. — № 1. — P. 88—91.
6. Coleman D. I., Sze S. M. A low-noise metal-semiconductor-metal (MSM) microwave oscillator // Bell System Tech. J. — 1971. — V. 50. — P. 1695—1699.
7. Esaki L. New phenomenon in narrow germanium p-n junctions // Physical Review. — 1958. — V. 109. — № 2. — P. 603—604.
8. Read W T. A proposed high frequency negative resistance diode // Bell System Tech. J. — 1958. — № 37. — P. 401.

9. Тагер А. С., Мельников А. И., Цебкиев А. М., Кобельков Г. П. Явление генерации радиоволн полупроводниковым диодом. Диплом на открытие № 24, приоритет от 27.10.1959, зарегистр. 17.03.1964.
10. Гаряинов С. А., Абезгауз И. Д. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением — М.: Энергия, 1970. — 320 с.
11. Дьяконов В. П. Лавинные транзисторы и их применение в импульсных устройствах — М.: Сов. радио, 1973. — 208 с.
12. Касимов Ф. Д. Агаев Ф. Г., Филинюк Н. А. Физико-технические особенности проектирования кремниевых микроэлектронных преобразователей на основе негатронов / Под редакцией д. ф. — м. н., профессора Ф. Д. Касимова. — Баку, 1999. — 234 с.
13. Филинюк Н. А. Негатроника — достижения и перспективы // Тр. Всесоюзной научно-технической конференции «Приборы с отрицательным сопротивлением и интегральные преобразователи на их основе». — Баку, 1991. — С. 11—17.
14. Jamaguchi J. On the inductive reactance and negative resistance the transistor // Journal Physical Society of Japan. — 1956. — V. 11. — P. 717—718.
15. Dill H. Inductive semiconductor elements and their application in bandpass amplifiers // RE Transactions on military electronics — 1961. — Vol. MIL-5. — № 3. — P. 239—250.
16. Adams D. K., Ho R. Y. C. Filtering, frequency multiplexing and other microwave application with inverted-common-collector transistor circuits. — Internat. Microwave Symp. Dallas. — May. — 1969. — P. 14—20.
17. Филинюк Н. А. Активные СВЧ фильтры на транзисторах. — М.: Радио и связь, 1987. — 112 с.
18. Стедлэр Х. Использование транзистора для получения аналога стабилитрона с нулевым динамическим сопротивлением. Электроника (США). 1969. — № 7. — С. 30—31.
19. Арефьев А. А., Баскаков Е. Н., Степанова Л. Н. Радиотехнические устройства на транзисторных эквивалентах р-п-р-п-структуры. — М.: Радио и связь. — 1982. — 104 с.
20. Негоденко О. Н., Липко С. И., Мирошниченко С. П. Каскадные аналоги негатронов. // Полупроводниковая электроника в технике связи. Под ред. И. Ф. Николаевского. — М.: Радио и связь, 1986. Вып. 26. — С. 29—33.
21. Yong-Ho Cho, Song-Sheol Hong, Young-Se Kwon. Novel Active Inductor and Its Application to Inductance — Controlled Oscillator // IEEE Trans. on Microwave theory and techn. Vol. 45. — No. 8. — 1997. — P. 1208—1213.
22. Itoh T., Chang C. Microwave active filters based on complete negative resistance method // IEEE Trans. on Microwave theory and techn. — 1990. — Vol. 38. — P. 1879—1884.
23. Бенинг Ф. Отрицательные сопротивления в электронных схемах. — М.: Сов радио, 1975. — 288 с.
24. Филинюк М. А. До питання визначення наукового напрямку «Негатроніка» // Вістник ВПІ. — 1999. — № 3. — С. 79—87.
25. Лосев О. В. Светящийся карборундовый детектор и детектирование с кристаллами // Телефония и телеграфия без проводов. — 1927. — № 5 (44). — С. 485—494.
26. Свечение Лосева // Моделист-конструктор. — 1987. — № 11. — С. 40—41.
27. Патент № 12191, Световое реле. / Лосев О. В. № 14672; Заявл. 28.02.27; Опубл. 31.12.1929. БИ № 3.
28. Иванов В. И., Аксенов А. И., Юшин А. М. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы // Под ред. Н. Н. Горюнова. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 184 с.
29. Филинюк Н. А. Краткий исторический обзор научного направления «Негатроника» // Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах. — Хмельницкий. — 1999. — № 3. — С. 38—43.
30. Филинюк М. А., Гаврилов Д. В., Ліщенко С. А. Методи і засоби вимірювання параметрів потенційно-нестійких багатополосників // Вісник Технологічного університету Поділля. — Хмельницький. — 2002. — Т. 1. — № 3. — С. 43—47.
31. А. С. СССР № 1038892, Способ определения максимальной частоты генерации транзистора. / Н. А. Филинюк, Опубл. 1983; Бюл. № 32.
32. А. С. СССР, № 1335895, Способ определения коэффициента устойчивости четырехполосника. / Н. А. Филинюк, Опубл. 1987; Бюл. № 33.
33. Патент № 53004А Україна. Спосіб вимірювання мінімально-досяжного вхідного активного опору чотириполосника / М. А. Филинюк, Д. В. Гаврилов; Заявл. 15.01.2003 р; Опубл. бюл. № 1.
34. А. С. СССР № 1095102А. Устройство для измерения параметров матрицы Y-проводимости четырехполосника. / Филинюк Н. А. Заявл. 19.08.1982; Опубл. 30.05.1984. Бюл. № 20.
35. Патент № 32856Україна. Спосіб визначення прямої і зворотної провідності чотириполосника / Филинюк М. А., Возняк О. М., Анфілов Р. А., Ле Туан Ту, 2001; Опубл. бюл. № 1.
36. Серьезнов А. Н., Степанова Л. Н., Гаряинов С. А., Гагин С. В., Негоденко О. Н., Филинюк Н. А., Касимов Ф. Д. Негатроника. — Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. — 315 с.
37. Касимов Ф. Д. Физические свойства и функциональные возможности эпитаксиальных структур, содержащих локальные пленки моно- и поликристаллического кремния со средней концентрацией легирующей примеси: Дис. ... докт. физ-мат. наук. — Баку, 1989.
38. Кичак В. М. Основи теорії частотно-імпульсних логічних і операційних елементів цифрової техніки: Дис. ... докт. техн. наук. Вінниця, 2002.
39. Степанова Л. Н. Интегральные радиоэлектронные устройства на эквивалентах р-п-р-п структуры: Дис. ... докт. техн. наук. — Москва, 1991.
40. Молчанов П. А. Теорія нелінійних транзисторних негатронів для пристроїв систем керування: Дис.... докт. техн. наук. — Вінниця, 1998.
41. Осадчук О. В. Радіовимірювальні мікроелектронні перетворювачі на основі реактивних властивостей транзисторних структур з негативним опором: Дис. ... докт. техн. наук. — Вінниця, 2002.
42. Молчанов П. А. Основи нелінійної теорії транзисторних негатронів. — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 1998. — 207 с.
43. Кичак В. М. Радіоімпульсні логічні НВЧ елементи. — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 1999. — 240 с.
44. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2000. — 303 с.
45. Филинюк Н. А. Активные УКВ фильтры. — М.: Радио и связь, 1984. — 55 с.

46. Негоденко О. Н., Румянцев К. Е., Зинченко Л. А., Липко С. И. Схемотехника, моделирование и применения транзисторных устройств с отрицательным сопротивлением. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. — 214 с.
47. Касимов Ф. Д., Гусейнов Я. Ю., Негоденко О. Н., Румянцев К. Е. Микроэлектронные преобразователи на основе негатронных элементов и устройств. — Баку: Элм, 2001. — 236 с.
48. Філінюк М. А. Аналіз і синтез інформаційних пристроїв на базі потенційно-нестійких узагальнених перетворювачів імітанса. — Вінниця: ВДТУ. — 1998. — 85 с.
49. Стафеев В. И., Комаровских К. Ф., Фурсин Г. И. Нейристорные и другие функциональные схемы с объемной связью. — М.: Радио и связь, 1981. — 112 с.
50. Тагер А. С., Вальд-Перлов В. М. Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ. — М.: Сов. Радио, 1968.
51. Хотунцев Ю. Л., Тамарчак Д. Я. Синхронизированные генераторы и автодины на полупроводниковых приборах. — М.: Радио и связь, 1982. — 240 с.
52. Filinyuk N., Lishinskaya L. WEB-site creation of international scientific coordination center «Negatronics». — The fourth Int. Conf. «INTERNET-Education — Science 2004», Baku-Vinnitsya-Veliko Turnovo, September 28—October 16, 2004. — P. 110—113.
52. Філінюк М. А. Теоретичні основи негатроніки. — Вінниця: ВДТУ, 2002. — 105 с.
53. Філінюк М. А. Фізичні основи негатроніки. — Вінниця: ВДТУ, 2003. — 79 с.
54. Филинюк Н. А. Краткая хронология развития научного направления «Негатроника» // Тр. 5-й МНТК «Современные информационные и электронные технологии». — Одесса. — 2004, — С. 212—213.
55. Лосев О. В. У истоков полупроводниковой техники. — Избранные труды. — Л.: Наука, 1972. — 202 с.
56. Філінюк М. А. Оптонегатроніка — історичний шлях розвитку та перспективи // Оптикоелектронні інформаційно-енергетичні технології. — Вінниця. — 2001. — № 1. — С. 251—259.
57. Ліщинська Л. Б., Філінюк М. А. Економічна негатроніка. — Науковий вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту. — Чернівці, 2003. — С. 38—40.
58. Филинюк Н. А., Филинюк Е. Н. Бионегатроника — путь к решению проблем КВЧ-терапии и акупунктуры. — Тр. «Научно-практическая конференция высших медицинских заведений освіти Вінницького регіону». — Вінниця, 2000. — С. 59—60.

Рекомендована кафедрою проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури

Надійшла до редакції 9.12.04  
Рекомендована до друку 5.01.05

**Філінюк Микола Антонович** — завідувач кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури.

Вінницький національний технічний університет