

$$\begin{cases} a_{\Sigma 1} \cdot e^{-j\varphi_{\Sigma 1}} = a_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + a_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + a_4 \cdot e^{-j\varphi_4} \\ a_{\Sigma 2} \cdot e^{-j\varphi_{\Sigma 2}} = a_2 \cdot e^{-j2\varphi_2} + a_3 \cdot e^{-j2\varphi_3} + a_4 \cdot e^{-j2\varphi_4} \\ a_{\Sigma 3} \cdot e^{-j\varphi_{\Sigma 3}} = a_2 \cdot e^{-j3\varphi_2} + a_3 \cdot e^{-j3\varphi_3} + a_4 \cdot e^{-j3\varphi_4} \end{cases} \quad (26)$$

та розв'язавши його відносно  $a_2$ ,  $a_3$  і  $a_4$ .

Знаючи амплітуду зонduючого сигналу, можна розрахувати коефіцієнти відбиття кожного об'єкту:

$$k_2 = \frac{a_2}{a}, k_3 = \frac{a_3}{a}, k_4 = \frac{a_4}{a}. \quad (27)$$

Наведені математичні перетворення доводять можливість практичної реалізації фазового методу вимірювання відстаней до трьох об'єктів. Для реалізації цього методу достатньо використати двадцять зонduючих гармонійних сигналів із рівномірним кроком між ними. У порівнянні із імпульсними або частотними методами, наведений фазовий метод має значно менший частотний діапазон, що дозволяє використовувати для пошуку об'єктів вимірювання в середовищах, які мають значні згасання сигналів на високих частотах.

Розроблений метод дозволить значно підвищити точності вимірювання відстаней до об'єктів в середині твердих матеріалів. Він може використовуватись в задачах дефектоскопії, ультразвукової діагностики медико-біологічних об'єктів, пошуку пошкоджень кабельних ліній зв'язку, гідролокації, радіолокації тощо [5, 6].

### Література

1. Любчик В.Р., Горященко К.Л. Імпульсно-фазовий метод вимірювання відстані до пошкодження низькочастотних ліній зв'язку // Вісник ТУП, – 2003,- С.196-200
2. Любчик В. Р., Дем'янюк С. М. Дослідження потенційної точності та швидкодії спектрально-фазового методу вимірювання відстані // МНТЖ, «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», м. Хмельницький, 2003. – № 1 (23), – стор. 74-80.
3. Любчик В.Р. Розробка фазового методу вимірювання відстаней до двох об'єктів // Вісник ТУП, Ч.1., Том 3, № 4, 2004, – С.108-114.
4. Любчик В.Р., Гнатюк О. І. Вимірювання відстаней до трьох об'єктів. – Вісник ТУП, № 2, 2005. – С.183-188.
5. Любчик В.Р., Чук І.І., Килимник О.М. Фазочастотна дефектоскопія // Вісник ХНУ, № 3, 2008,- С.159- 163.
6. Сенчишина Ю.В., Любчик В.Р. Дослідження методів ультразвукової діагностики медико-біологічних об'єктів // Вісник ХНУ, № 6, 2008,- С.132- 137

Надійшла 16.3.2009 р.

УДК 621.382

Ю.С. КРАВЧЕНКО, В.С. ОСАДЧУК, Г.В. ІВЧУК  
Вінницький національний технічний університет

## ДІАГНОСТИКА ТА КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ В ПЛАЗМОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ТРАВЛЕННЯ МІКРОСТРУКТУР

*Проаналізовано стан та методи діагностики і контролю температури в сучасній мікроелектронній технології, шляхи підвищення їх ефективності за рахунок впровадження нових підходів в реалізації контролю на основі сучасних досягнень в цій області.*

### Вступ

Внаслідок особливого значення температурного режиму обробки напівпровідникових структур в сучасній мікроелектронній технології [1] питанням підвищення ефективності і достовірності контролю температури приділяється особлива увага як зі сторони дослідників цього процесу [2, 3], так і виробників [4, 5].

Сучасний моніторинг здійснюється переважно за рахунок збору та обробки інформації від спеціальних сенсорів, в основу роботи яких покладено різноманітні фізичні та хімічні ефекти, а сам моніторинг є основним базовим елементом системи управління технологічним процесом [3].

Мета даної роботи – аналіз шляхів підвищення ефективності і достовірності контролю температури при проведенні плазмохімічних процесів в мікроелектроніці.

## Аналіз проблеми

Як відомо, будь-яка класифікація носить умовний характер і у літературі можна зустріти різні варіанти класифікації методів та засобів вимірювання температури: за принципом дії, за структурними ознаками, за функціональними ознаками тощо [6].

Залежно від характеру взаємодії первинного перетворювача термометра з об'єктом вимірювання розрізняють контактні та безконтактні методи вимірювання.

До контактних методів вимірювання температури відносять методи, побудовані на різних принципах перетворення температури у фізичну величину, яку можна безпосередньо виміряти, та за умови теплового контакту між об'єктом вимірювання та первинним перетворювачем термометра. Основна вимога до контактних методів вимірювання температури – це мінімальна різниця між температурою чутливого елемента термометра та температурою об'єкта вимірювання.

До групи безконтактних методів відносять методи, побудовані на різних принципах перетворення теплового випромінювання у фізичну величину, яку можна безпосередньо виміряти [6, 3]. Причому тепловий контакт між об'єктом вимірювання та первинним перетворювачем термометра не є обов'язковим. Безконтактні методи вимірювання температури не вимагають тотожності температури чутливого елемента термометра та температури об'єкта вимірювання.

Тепер розглянемо дані методи більш докладно.

Важливість газового термометра [6], як первинного термометра, зумовлена тим фактором, що поведінка низки газів максимально наближається до характеристик ідеального газу.

На вимірюваннях температури газовим термометром побудована сучасна абсолютна температурна шкала. Газова термометрія особливо корисна, коли потрібно вимірювати температуру середовища під час певного технологічного процесу (травлення, літографії, епітаксії тощо) [1, 6].

У термометрах сталого об'єму застосовується просте співвідношення для незмінної кількості газу

$\frac{p}{p_r} = \frac{T}{T_r}$ , де  $p_r$  - тиск за опорної (реперної) температури  $T_r$ . З урахуванням другого та третього вір'яльного коефіцієнтів та поправок  $D$  на так званий шкідливий об'єм (об'єм газу у злучальному капілярі) подане вище рівняння перетворюється до вигляду:

$$\frac{T}{T_r} = \frac{p}{p_r} \cdot \frac{1 + B(T)_r \left( \frac{p_r}{RT_r} \right) + \left[ C(T_r) - B^2(T)_r \right] \left( \frac{p_r}{RT_r} \right)^2}{\left\{ 1 + B(T) \frac{p}{RT} + \left[ C(T) - B^2(T) \right] \left( \frac{p}{RT} \right)^2 \right\} \left[ 1 + \frac{T_r}{V} \left( D_r - \frac{Dp}{p_r} \right) \right]}$$

Після вимірювань відношень тисків  $\frac{p}{p_r}$  за температури досліду отримують низку значень

температури.

Привабливість шумової термометрії як засобу передачі термодинамічної шкали для практичних вимірювань полягає у тому, що результати вимірювань не залежать від характеру та структури речовини чутливого елемента та їх змін у процесі нагрівання й охолодження, від впливу деформації, опромінення, хімічних перетворень тощо.

Шумові термометри [6], які існують на сьогоднішній день переважно ґрунтуються на методі порівняння з мірою, методі прямого вимірювання температури. Існує також перспективний клас шумових термометрів з детектором типу SQUID (надпровідний інтерференційний детектор магнітного поля). Кожен з цих видів має свої переваги та недоліки і використовується залежно від поставлених вимог та умов вимірювання температури.

Діапазон вимірювання температури шумовими термометрами лежить у межах від 12 мкК до 2500 К похибка вимірювання – від 10 % до 0,01 % для часу вимірювання від 1 с до 400 год. Зазначені параметри термометра залежать від конкретної реалізації методу.

Термоелектрична термометрія ґрунтується на термоелектричних явищах – сукупності фізичних явищ, зумовлених взаємозв'язком між тепловими та електричними процесами у провідниках. До згаданих явищ відносять ефекти Зеебека, Пельтьє та Томсона [6-8]. На даний час компанії зі світовими іменами (Texas Instruments, Honeywell та інші) мають широку базу термоелектричних перетворювачів [9-13, 15] (рис. 1), які, залежно від характеристик та конфігурації, можуть використовуватися в різних технологічних процесах.

Дані методи значно частіше використовуються на практиці, бо мають ряд переваг:

- простіші та наочніші у використанні в порівнянні з іншими методами;
- досить дешеві, щоб впроваджуватись у масове виробництво;
- добре вивчені і тому мають значну теоретичну та практичну базу.

Але серед цих багатьох переваг вони також мають такі серйозні недоліки як:

- явище термоелектричної неоднорідності в речовинах складного хімічного складу вимагає постійної повірки параметрів, а це є незручно та дорого;
- має значні коливання температур при використанні плоских термопар, які зараз найбільш

використовувані для мікроелектронної та інших технологій зокрема.

Електрорезистивна термометрія [6]. З моменту появи перших термометрів опору та робіт Каллендара по перших платинових термометрах, резистивна термометрія суттєво змінилася.

Відзначимо, що процеси електропровідності досить складні і сучасна теорія не може забезпечити точний кількісний розрахунок параметрів чутливих елементів термометрів опору. Проблема полягає у складності оцінки внеску окремих процесів у загальну електропровідність. Тим не менше, теорія дозволяє передбачити якісний характер температурної залежності опору.

За винятком дуже низьких температур опір чистих металів визначається електрон-фононим розсіюванням. За температур, вищих за температуру Дебая  $\Theta_D$  опір пропорційний температурі:

$$\rho(T) = \alpha T, \quad \alpha - \text{температурний коефіцієнт електроопору.}$$

$$\text{Для температур } T < 0,1\Theta_D : \rho(T) = \rho_0 + bT^5.$$

Для прецизійних термометрів опору [7] необхідно враховувати вплив деформацій на питомий опір. Технологічні операції навивання спіралей чутливого елемента супроводжуються пластичною та пружною деформаціями і призводять до накопичення механічних напружень, а під час експлуатації до цього можуть призвести ударні та вібраційні навантаження.

В 80-і роки одержав поширення термолюмінесцентний датчик з волоконно-оптичним зв'язком [17-18], у якому сигнал про температуру чутливого елемента переноситься до реєструвального приладу світловим потоком. Схема дії пристрою представлена на рис. 2.

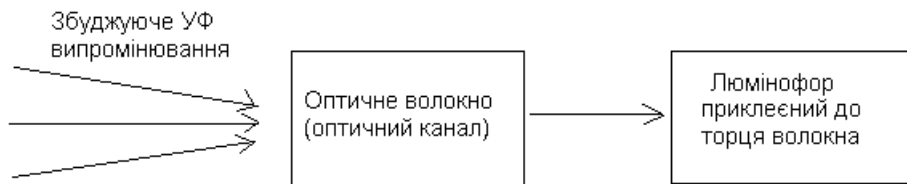


Рис. 2. Схема дії термолюмінесцентного датчика з волоконно-оптичним зв'язком

Вимірюється відношення інтенсивностей люмінесценції для двох ділянок спектру на виході волоконно-оптичної лінії. За допомогою цього датчика проводилося вимірювання теплової потужності, що передається з плазми на поверхню [18], а також дослідження впливу екзотермічного ефекту реакції на швидкість травлення металічних плівок в плазмі. Однак основна проблема, пов'язана з встановленням теплового контакту датчика зі зразком, залишилася невирішеною: наявність результатів залежить від наявності контакту датчика з поверхнею, тому розкид значень температури досягає  $100^\circ\text{C}$  при температурі кристала  $300^\circ\text{C}$ .

Використання радіаційної пірометрії інфрачервоного (ІЧ) діапазону стикається з двома перешкодами: порівняно інтенсивним випромінюванням газорозрядної плазми та нагрітих елементів вакуумної камери і низкою випромінювальною здатністю слабколегованих напівпровідникових пластин в області температур  $\theta \leq 800 \text{ K}$  [17]. Спектри ІЧ-випромінювання плазми молекулярних газів складаються з полос коливально-обертальних переходів, рекомбінаційного та гальмівного континуумів. Проблеми відстройки від ліній і полос випромінювання плазми, а також врахування континуумів при вимірюваннях теплового випромінювання кристалів на даний час не вирішені. Данні про спектри нерівноважного випромінювання при взаємодії іонних пучків високої енергії ( $100 \text{ keV} - 1 \text{ MeV}$ ) з кристалами (в процесах іонного синтезу та легування) в літературі відсутні.

Оптична термометрія [6, 17] складається із послідовності перетворень: у відповідності з температурою кристала встановлюється значення фізичного параметра, проводиться його вимірювання оптичним методом, потім на основі відомих співвідношень між температурою, фізичним параметром та реєструємим оптичним сигналом визначається температура. Дана послідовність передбачає використання зовнішнього зондування, тобто, діагностика активна.

З кінця 80-х років почалися розробка й застосування оптичних методів, у яких сам оброблюваний у плазмі кристал виконує роль термочутливого елемента. Методи оптичної термометрії кристалів, засновані на реєстрації відбитого чи прохідного зондування випромінювання, містять в собі високу продуктивність, заводозахисність та точність, необхідні для досліджень та технологічного контролю.

У цей час є ряд невирішених питань, що утрудняють застосування оптичних методів у технологічному контролі. По-перше, немає досить повних даних по оптичних властивостях кристалів у

діапазоні до 1000 К. По-друге, при обробці кристалів відбувається зміна їх оптичних властивостей в часі, що ускладнює проведення оптичної термометрії в процесах плазмохімічного травлення [17-18] та іонної імплантації. Зондуєчий світловий пучок містить інформацію не тільки про температуру пластини, але й про зміну товщин, утворення рельєфу чи скритого шару (SiMOX-технологія), при цьому зростає число невідомих.

Перераховані проблеми мають технічний характер й, імовірно, не перешкоджають переходу оптичної термометрії зі стану перспективного в стан рутинного методу.

Найбільш продуктивний і точний у цей час метод лазерної інтерферометрії [18] із транспортуванням світлового пучка у вільному просторі дозволяє скоротити час підготовки до вимірювань після завантаження пластини в реактор до 10 сек.

Лазерний термометр із волоконно-оптичним зв'язком можна вбудовувати в технологічні установки, оскільки він володіє двома перевагами перед іншими методами: не потрібно спеціальне оптичне вікно в робочій камері (для введення лазерного пучка у світловод підходить будь-яке розташування вікна); продуктивність вимірів практично необмежена й не знижує продуктивності плазмохімічної обробки.

Істотним обмеженням вимірювальних можливостей у цей час є те, що при травленні пластини неможливе визначення температури в схемі з однією довжиною хвилі зондувального випромінювання. Однак при використанні двохвильового зондування можливе вимірювання не тільки температури, але й швидкості травлення кремнію.

Таким чином, можливості діагностики та контролю температурних умов протікання процесів на пластині представлені достатньо широко. Однак роботи, що присвячені безпосередньо температурному моніторингу плазмохімічних поверхневих реакцій суттєво менше. Це пояснюється тим, що в цих процесах слід брати до уваги дві температури: температуру плазми та температуру підложки. Як відомо, визначення температури плазми є досить проблематичним через ряд причин [4, 18]. Тому для спрощення задачі ми будемо розглядати лише температуру підложки.

Вимірювання внутрішньої температури твердих тіл контактним методом переважно здійснюється за розташування чутливого елемента (термоперетворювача) в отворах у досліджуваному тілі [6, 8].

Для типового розташування стрижневого термоперетворювача (рис. 3) існує наближений розв'язок задачі для похибки вимірювання у точці  $x$  (де перебуває зонд) у вигляді:

$$\Delta T(x) = T_0(x) - T_T(x) = \left[ T_{II} - T_T(0) \right] \frac{kch(1-\rho) + \zeta_T shk(1-\rho)}{kch + \zeta_T shk} + bL \frac{shk\rho}{kch + \zeta_T shk}$$

для випадку, коли температура поверхні  $T_{II}$  відома, або у вигляді:

$$\Delta T(x) = T_0(x) - T_T(x) = \frac{T_{II} - T_{виступ}}{1+F} \cdot \frac{kch(1-\rho) + \zeta_T shk(1-\rho)}{kch + \zeta_T shk} + bL \frac{shk\rho - \Phi \left[ kch(1-\rho) + \zeta_T shk(1-\rho) \right]}{kch + \zeta_T shk},$$

коли ця температура невідома. Тут  $k = \beta L$ ;  $\zeta_T = \frac{k_T L}{\lambda_T}$ ;  $\beta^2 = \frac{kp}{\lambda_T S}$ ;  $k = \left( \frac{1}{\alpha_0} + \frac{h_{np}}{\lambda_{np}} + \frac{R}{4\lambda_{III}} \right)^{-1}$  - ефективний

коефіцієнт теплопередачі між термоперетворювачем і об'єктом;  $k_T$  - ефективний коефіцієнт теплопередачі між торчаком термоперетворювача й об'єктом;  $\alpha_0$  - коефіцієнт тепло відатності;  $h_{np}, \lambda_{np}$  - грубізна і теплопровідність проміжку;  $\lambda_T, \lambda_{III}$  - ефективна теплопровідність термоперетворювача у поздовжньому та поперечному напрямках;  $p, S$  - периметр і площа перерізу термоперетворювача;

$$F = \frac{L_{виступ}}{L} \cdot \frac{kch + \zeta_T shk}{kch + \zeta_T shk} \cdot \frac{k}{\omega h}; \quad \Phi = \frac{L_{виступ}}{L(1+F)\omega h} \cdot \frac{k(chk-1) + \zeta_T shk}{kch + \zeta_T shk};$$

$$\omega = \beta_{виступ} \cdot L_{виступ} = \sqrt{\frac{\alpha_{виступ} P}{\lambda_T S}} L_{виступ};$$

де  $\alpha_{виступ}$  - коефіцієнт тепло відатності виступаючої частини.

Оцінки теплового балансу пластини в плазмі, виконані для випадку проходження поверхневої реакції (травлення) були наведені в [16]. На рис. 3 зображено розміщення зонду в плазмі.

В першому наближенні, вважаючи тепловий опір зазору між пластинною і тримачем великим, і нехтуючи тепловим стоком в цьому напрямку, можна записати феноменологічне рівняння теплового балансу для пластини площею ( $S_0$ ), масою ( $m$ ) і теплоємністю ( $c$ ) в одновимірному випадку:

$$cm \frac{dT}{dt} = 2\alpha_{g-w} S_0 (T_g - T) + \gamma H_r \rho V_r (T) \frac{S_r}{S_0}, \quad (1)$$

де  $\alpha_{g-w}$  – коефіцієнт тепловіддачі від плазми до пластини;  $T_g$  і  $T$  – температура газу (плазми) і пластини;  $H_r$  і  $S_r$  – питома теплота реакції та

площа, на якій вона протікає;  $V_r(T) = \exp\left(\frac{-E_a}{kT}\right)$  –

температуро залежна швидкість реакції (травлення);  $\rho$  – густина пластини;  $\gamma$  – доля енергії реакції, що передана підложці.

При цьому мається на увазі, що механізм теплопровідності вирівнює температуру пластини по товщині, так що  $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$ . Всі члени рівняння (1) мають однакову розмірність густини теплової потужності.

Тепловими втратами на випромінювання можна знехтувати, так як розглянутий діапазон температур в плазмохімічному реакторі 293-500K. Тепловий вклад реакції травлення описується другим членом. Його абсолютна величина і знак залежать від виду реакції (питомої теплоти), швидкості проходження (видаленої товщини шару за одиницю часу) та долі площі пластини, на якій реакція травлення відбувається. В межах, при нескінченно малому тепловому опорі зазору пластини-тримач і достатній теплопровідності кремнію стаціонарна температура пластини досить близька до температури тримача. Таким чином, різниця температур  $\Delta T \rightarrow 0$ , тримач являє собою термостат, і ніякий тепловий ефект реакції не може бути зареєстрований при зміні температури. Отже, навіть приблизний аналіз теплового балансу визначає умови, при яких термодіагностика поверхні не дозволяє встановити момент закінчення травлення шару:

- близькі значення добутку величин  $H_r V_r(T)$  у сусідніх шарів при температурі пластини  $T$ ;
- малі площі травлення, тобто малі площі вікон  $S_r$ ;
- існування ефективних теплових стоків з пластини [16-18].

Для термодіагностики це означає таке:

- по-перше, для надійної реєстрації теплових ефектів реакцій “низькотемпературного” діапазону необхідно хоча б на порядок підняти чутливість методів вимірювання температури пластини, відносно існуючих на даний час 0,3-0,5K;

- по-друге, реакції, що мають яскраво виражену арреніусівську залежність швидкості (з великою  $E_a$ ), при проходженні у відносно низькотемпературних умовах, дають експоненціально зменшуючийся тепловий ефект. Це ускладнює його знаходження і звужує коло можливих технологічних процесів, де можна детектувати закінчення травлення.

Застосування термодіагностики для контролю за умовами проходження процесу продемонстровано на рис. 4. Там задача полягала в тому, щоб не допустити перегрівання шару резисту вище 200°C і тим самим уникнути його деструкції, з одного боку, і забезпечити достатньо швидке протікання реакції – з іншого.

Температура газу нерівноважної плазми є одним з найважливіших її параметрів, який визначає не тільки внутрішні енергетичні параметри самої плазми, але й енергетичний стан її складових (іонів, молекул, атомів, радикалів), характер, механізми і кінетику фізико-хімічних перетворень [16], ефективність взаємодії хімічно активних частинок плазми з поверхнею твердого тіла [17]. Для вимірювання температури частинок плазми найчастіше використовують оптичні спектральні методи діагностики, які пов'язані з уширенням спектральних ліній її власного випромінювання: штарківського – для визначення температури електронів [3] та доплерівського – для визначення температури газу (температури важких частинок) [16].

В той же час, застосування оптичних методів вимірювання температури для контролю плазмохімічних технологічних процесів в режимі реального часу ускладнене [4], оскільки воно передбачає процедуру складних машинних розрахунків. Крім того, оптичний метод діагностики температури визначає лише яскравісну температуру відповідної збудженої частинки плазми, яка не завжди збігається з дійсною температурою газу [17]. Існує і альтернативний метод вимірювання температури газу, який базується на використанні спеціальних термозондів, які виготовляються на основі вакуумно ізольованих мікротермопар,

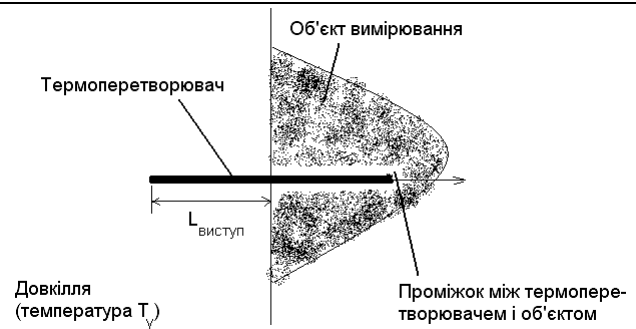


Рис. 3. Схема розташування термоперетворювача в плазмі

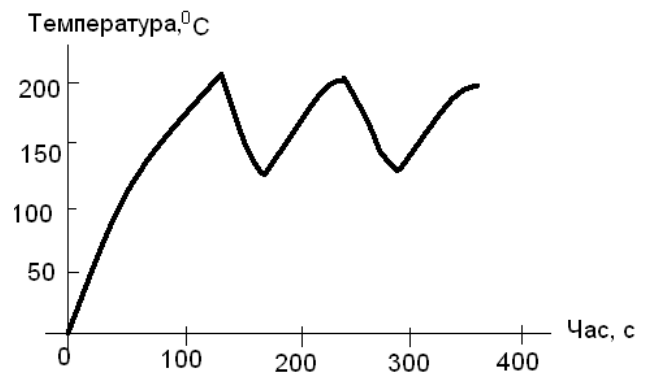


Рис. 4. Температура кремнієвої пластини в ході керованого процесу травлення півки фоторезисту ( $d=1$  мкм) в оксидній плазмі [19]

розміщених в скляних або кварцевих капілярах [14, 16] (рис. 5). Для покращення точності вимірювань пропонуємо об'єднати мікро термопару з мікроелектронним частотним перетворювачем [18, 19].

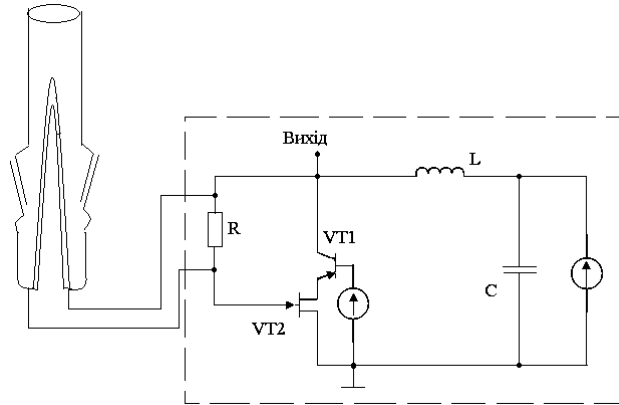


Рис. 5. Структурна схема мікроелектронного частотного перетворювача температури газу в умовах нерівноважної плазми

### Література

1. Таруи Я. Основы технологии СБИС: Пер. с япон. – М.: Радио и связь, 1985. – 480 с.
2. Орликовский А.А., Словецкий Д.И. Проблемы плазмохимического травления в технологии микроэлектроники // Микроэлектроника. – 1987. – Т. 16. – № 6. – С. 497 – 512.
3. Орликовский А.А., Руденко К.В. Диагностика in situ плазменных технологических процессов микроэлектроники: Современное состояние и ближайшие перспективы. Часть 1 // Микроэлектроника. – 2001. – Т.30. – № 2. – С. 85-105.
4. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 264 с.
5. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 328 с.
6. Вимірювання температури: теорія та практика/ Луцик Я. Т., Гук О. П., Лах О. І., Стадник Б. І. – Львів: Видавництво “Бескид Біт”, 2006. – 560 с.
7. Иванов Ю.А., Лебедев Ю.А., Полак Л.С. Контактные методы диагностики в неравновесной плазмохимии – М.: Наука, 1981.
8. Патент України № 44275, кл. G01K 1/12. Заглибний зонд / Харрі Г. Клосс. – 15.02.02. – Бюл. № 1.
9. Патент України 40299, кл. G01K 7/00. Мікроелектронний пристрій виміру температури / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. – 16.07.01. – Бюл. № 6.
10. Патент України 33405, кл. G01K 7/00. Напівпровідниковий вимірювач температури / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Н. С. Кравчук. – 15.02.01. – Бюл. № 1.
11. Патент України 40236, кл. G01K 7/01. Мікроелектронний вимірювач температури / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. – 16.07.01. – Бюл. № 6.
12. Магунов А. Н., Лукин О. В. Оптические методы измерения температуры полупроводниковых кристаллов в диапазоне 300-800К (обзор) // Микроэлектроника. – 1996. – Т.25. – № 2. – С. 97-111.
13. Магунов А. Н., Лукин О. В. Измерение температуры кремниевых пластин в плазмохимическом реакторе лазерным термометром с волоконно-оптической связью // Микроэлектроника. – 1995. – Т.24. – № 2. – С. 119-124.
14. Патент України № 27672, кл. G01K 7/40. Спосіб вимірювання температури газу в неврівноваженій плазмі / Г. В. Івчук, Ю. С. Кравченко, С. Ю. Кравченко. – 12.11.07. – Бюл. № 18.
15. Патент України № 27665, кл. G01K 3/00. Пристрій для вимірювання різниці температур / Г. В. Івчук, Ю. С. Кравченко. – 12.11.07. – Бюл. № 18.
16. Кравченко Ю.С. и др. Параметры тлеющего разряда в четыреххлористом углероде // Теплофизика высоких температур. – 1986. – Т.24. – № 1. – С. 37 – 44.
17. Кравченко Ю.С., Осадчук В.С., Кравченко С.Ю., Івчук Г.В. Вимірювання та контроль температури плазми мікрозондовим методом // Оптичні та оптико-електронні сенсори і перетворювачі в системах керування та екологічного моніторингу. – 2008. – № 15. – С. 177-183.
18. Осадчук В. С., Осадчук О. В., Вербицький В. Г. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі. – Вінниця: “Універсам – Вінниця”, 2001. – 195 с.
19. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від’ємним опором. – Вінниця: “Універсам – Вінниця”, 2000. – 303 с.

Надійшла 9.3.2009 р.