

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК: 621.382: 681.586.776

В. С. Осадчук, д. т. н., проф.;

О. В. Осадчук, д. т. н., проф.;

С. В. Барабан, студ.;

О. М. Ільченко, студ.

РОЗРОБКА РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИХ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ СТРУКТУРИ «МЕТАЛ–СЕГНЕТОЕЛЕКТРИК–НАПІВПРОВІДНИК»

Проаналізовано сучасні технології отримання тонких сегнетоелектричних плівок, методи побудови радіовимірювальних мікроелектронних перетворювачів температури. Запропоновано новий метод вимірювання температури на основі поєднання сегнетоелектричних тонких плівок з транзисторними структурами з від'ємним опором та розроблено електричні схеми радіовимірювальних мікроелектронних перетворювачів температури на основі структури «метал–сегнетоелектрик–напівпровідник».

Вступ

Проаналізувавши відомі методи вимірювання температури, основані на застосуванні сегнетоелектричних матеріалів [1], автори статті запропонували метод вирішення проблеми у цій галузі сенсорної техніки, використовуючи радіовимірювальні схеми на основі структури «метал–сегнетоелектрик–напівпровідник». Як показав аналіз літературних джерел [2, 3] перспективним напрямком у розвитку даних перетворювачів температури є сумісність із сучасними мікроелектронними технологіями, тобто можливість створення інтегральних активних конструкцій зі застосуванням тонких сегнетоелектричних матеріалів. Сегнетоелектрики — речовини, кристалічна структура яких дозволяє існування в деякому діапазоні температур спонтанної електричної поляризації (відмінного від нуля сумарного дипольного моменту одиниці об'єму зразка), модуль і просторова орієнтація якої можуть бути змінені під дією зовнішнього електричного поля. Автори статті після проведеного аналізу в [1] поставили за мету розробити електричні схеми нових перетворювачів температури з поєднанням інтегральної технології і технології тонких сегнетоелектричних плівок.

Методи отримання тонких сегнетоелектричних плівок

Не зважаючи на унікальні властивості, сегнетоелектрики дотепер отримали досить вузьке застосування в мікроелектроніці. Це пов'язано з тим, що одразу після їх відкриття інженери зацікавились цим класом речовин, але практичне використання в мікроелектроніці виявилось неможливим через відсутність технології отримання тонкоплівкових сегнетоелектричних матеріалів високої якості з передбачуваними властивостями. І лише в 90-х роках минулого століття вдалося досягнути контрольованої сумісності тонких шарів сегнетоелектриків з напівпровідниковими комутаційними матрицями в рамках планарної технології напівпровідникових приладів. Така інтеграція, з одного боку, відкриває можливість створення цілої низки нових пристроїв, а з іншого — дозволяє уникнути вартісних і ненадійних гібридних конструкцій.

Методи отримання сегнетоелектричних плівок безперервно розвиваються і удосконалюються буквально в кожній лабораторії, але за основними властивостями можна виділити чотири найпер-

спективніші напрямки: магнетронне напилення, лазерну абляцію, хімічне осадження з газової фази металоорганічних з'єднань і золь-гель процес.

В процесі магнетронного напилення атоми мішені вибиваються високоенергетичними іонами і осаджуються на поверхні підкладки. Плівка росте доволі повільно і для більших площ підкладки може мати значні варіації мікроструктури і складу. До теперішнього часу розроблені численні способи часткового подолання цих труднощів, в результаті чого якість плівок постійно покращується [4].

Група методів, об'єднаних назвою «лазерна абляція» [5], тобто ініційоване лазером масоперенесення речовини мішені на підкладку, отримала розвиток біля десяти років тому, під час пошуку шляхів нанесення плівок багатокомпонентних металоксидних з'єднань — високотемпературних надпровідників. Лазерний промінь (звичайно використовуються потужні лазери з частотою послідовності імпульсів від 10 до 100 Гц, які працюють на переходах між електронними рівнями ексимерних молекул, що існують лише в електронно—збуджувальних станах) фокусується на мішені, випарувані атоми якої переносяться на підкладку, де росте плівка. У порівнянні з методами магнетронного напилення ці методи відкривають можливість зниження температури підкладки (що буває критичним у разі інтегрування сегнетоелектричних плівок з напівпровідниками) і забезпечення дотримання виконання умов стехіометрії на всій поверхні осадження. Основні складності пов'язані з напиленням однорідних плівок на підкладки великої площі та з захистом поверхні плівки, що зростає, від пошкодженої уламками мішені, що розпадається [5].

В процесі хімічного осадження з газової фази металоорганічних з'єднань потоки газів, які містять усі необхідні компоненти сегнетоелектричних з'єднань, фокусуються на поверхні нагрітої підкладки і вступають в хімічну реакцію, в результаті якої утворюється тверда плівка сегнетоелектрика.

Недивлячись на складність підбору необхідних вихідних металоорганічних з'єднань (алкідів, алкоксидів і арилів) і складність хімічних реакцій, цей напрямок має багато переваг, дозволяючи, зокрема, знизити температуру підкладки (< 600 °C), забезпечити високу якість покриття на значній площі, та має більшу швидкість росту плівки [4].

В останні роки активно розвивається золь-гель метод отримання плівок сегнетоелектриків [6], який має найбільші переваги. В основі методу лежать реакції гідролізу і поліконденсації металоорганічних з'єднань, головним чином алкоголятів металів, які забезпечують утворення металоксидного каркасу, поступове розгалуження якого викликає послідовні структурні зміни за схемою розчин—золь—гель—оксид. Такий метод дає можливість дуже точного керування структурою отримуваної речовини на молекулярному рівні, отримання багатокомпонентних оксидних з'єднань з точним дотриманням стехіометричного відношення елементів, високою гомогенністю і низькою температурою утворення оксидів. Кінцевим продуктом цієї технології можуть бути матеріали різного виду і внутрішньої структури: гелі, скло, порошки, кераміка, волокна, плівки [7].

Технологічна схема створення радіовимірювальних мікроелектронних перетворювачів температури

Важливим фактором, який визначає надійність інтегральних вимірювальних перетворювачів, є технологічна сумісність компонентів, оскільки можливе порушення якості чутливої поверхні, границь дифузійних зон та, дефектоутворення в результаті термохімічних взаємодій компонентів перетворювача в процесі виготовлення, а також їх механічне пошкодження. В технології інтегральних вимірювальних перетворювачів характерне використання локального окислення, селективного травлення елементів мембранної і гібридної технологій [8]. Відомо [9], що технологічні операції створення біполярного транзистора з польовим керуванням доповнюються нанесенням шару піроелектрика, товщина якого в залежності від потрібних параметрів інтегральних вимірювальних перетворювачів досягала 100 мкм.

Розробка мікроелектронних перетворювачів температури на основі транзисторних структур з від'ємним опором

Для побудови радіовимірювальних перетворювачів температури з використанням тонких сегнетоелектричних плівок пропонуємо використати схеми автогенераторів, описаних в [10]. Оскільки конструкції цих генераторів повністю сумісні з сучасною інтегральною технологією, можливе суміщення із золь-гель процесом, описаним в [6] і отримання структури метал—сегнетоелектрик—напівпровідник. Електрична схема такого пристрою показана на рис. 1. Шляхом випаровування вихідних матеріалів у вакуумі

($P = 10^{-6}$ Па) над каналом польового транзистора і базою біполярного транзистора осідає і кристалізується тонкий шар сегнетоелектричної плівки. Після технологічного процесу металізації над плівкою утворюється шар металу, який виконує роль поглиначя випромінювання, теплова дія якого буде впливати на утворення піроелектричного ефекту в плівці. Замість шару металу можна використати оптично прозорий напівпровідник, наприклад, полікремній. До того ж транзистори типу «полікремній—сегнетоелектрик—напівпровідник» вже існують [7] і знаходять широке застосування в мікроелектроніці [11].

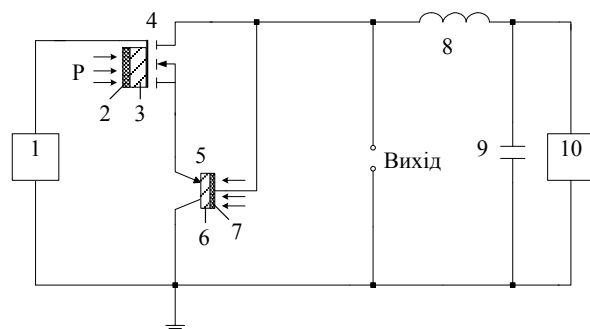


Рис. 1. Мікроелектронний пристрій для вимірювання температури

ня не діє на поглиначі випромінювання 2 і 7. Підвищення напруги джерел 1 і 10 до величини, коли на електродах стік—колектор польового транзистора 4 і біполярного транзистора 5 виникає від'ємний опір, який викликає електричні коливання в контурі, утвореному послідовним включенням повного опору з ємнісним характером на електродах стік—колектор польового транзистора 4 і біполярного транзистора 5 та індуктивним опором пасивної індуктивності 8. Конденсатор 9 запобігає проходженню змінного струму через друге джерело напруги 10. Теплове випромінювання поглинається поглиначами випромінювання 4 і 5 і передається на напилени на затвор польового транзистора 4 і базу біполярного транзистора 5 плівки піроелектрика 3 і 6. Теплова дія потужності випромінювання W викликає зміну температури ΔT піроелектрика ($W \rightarrow \Delta T$), зміна температури ΔT зумовлює появу зарядів ΔQ на електродах піроелектрика ($\Delta T \rightarrow \Delta Q$), заряд ΔQ на електродах піроелектрика створює різницю потенціалів $U(\Delta Q \rightarrow U)$, яка додається до напруги, що існує на електродах затвор—витік польового транзистора 4 і база—емітер біполярного транзистора 5 і змінює значення ємності коливального контуру, утвореного послідовним включенням повного опору з ємнісним характером на електродах стік—колектор польового транзистора 4 і біполярного транзистора 5 та індуктивним опором пасивної індуктивності 8, а це викликає зміну резонансної частоти коливального контуру.

Для підвищення чутливості вимірювання даної схеми пропонується використати індуктивний характер повного опору біполярного транзистора з RC-колом, яке легко виконується у вигляді інтегральної схеми [12]. Отже, схема частотного перетворювача температури з активним індуктивним елементом подана на рис. 2.

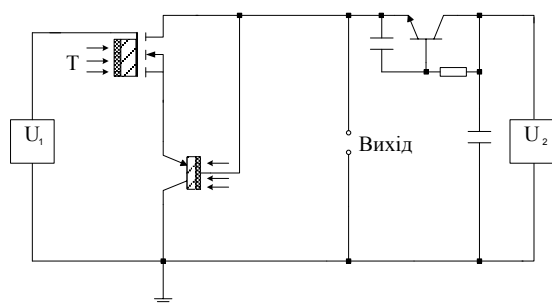


Рис. 2. Частотний перетворювач температури з активним індуктивним елементом

Можливі й інші варіанти електричних схем на основі транзисторних структур з від'ємним опором і тонких сегнетоелектричних плівок. Авторами статті було подано низку заявок на патенти на винаходи України, наступним етапом роботи є моделювання радіовимірювальних мікроелектронних перетворювачів температури.

Висновки

Стрімкий розвиток мікроелектронних технологій висуває нові вимоги до систем контролю і управління фізичними процесами. В статті запропоновано новий підхід до вирішення проблем в області вимірювання температур, побудовою радіовимірювальних перетворювачів на основі структури «метал—сегнетоелектрик—напівпровідник», що стало можливим через успіхи в технології тонких сегнетоелектричних плівок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Осадчук В. С. Аналіз методів вимірювання температури на основі піроелектриків: праці 4-ї Міжнародної науково-

- практичної конференції «Современные научные достижения — 2008». Т. 17 / Технические науки. Электротехника и радиоэлектроника / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, С. В. Барабан, О. М. Ильченко. — Przemysl: Nauka i studia. — С. 3—11.
2. Струков Б. А. Пироэлектрические материалы свойства и применение / Б. А.Струков // Соросовский образовательный журнал. — 1998. — № 5. — С. 96—101.
 3. Киселев Е. Н. Дистанционное измерение тепловых потоков малой мощности / Состояние, проблемы и направления развития производства цветных металлов в Украине / Е. Н. Киселев, В. Л. Костенко. — Запорожье: ЗГИА, 2001 — С. 352—357.
 4. Scott J. F., Paz De Araujo, Mc Millan L.D. Integrated Ferroelectrics // Condensed Matter News — 1992. V. 1, No 3. P. 16—20.
 5. Swarts S. L., Wood V. E. Ferroelectric Thin Films // Ibid. — No 5. — P. 4—13.
 6. Microelectronic Engineering / P. K. Larsen, G. J. M. Dormans. Eds. 1995, V. 29
 7. Ferroelectric Thin Films. NATO ASI Series (E), 1995. V. 284.
 8. Костенко В. Л. Особенности технологии производства интегрального датчика лучистой энергии / В. Л. Костенко, Е. Н. Киселев // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: материалы 1-ой промышленной международной конференции, 19.02.2001 — 23.02.2001, п. Славское. — Киев: УИЦ «Наука. Техника. Технология». — С. 171—172.
 9. Лапач С. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. Н. Бабич. — К.: «Морион», 2001. — 42 с.
 10. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / О. В. Осадчук. — Вінниця: «УНІВЕРСУМ–Вінниця», 2000. — 303 с.
 11. Сигов А. С. Сегнетоэлектрические тонкие пленки в микроэлектронике / А. С. Сигов.// Соросовский образовательный журнал — 1996. — № 10. — С. 83—91.
 12. Осадчук В. С. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. — Вінниця: «УНІВЕРСУМ–Вінниця», 1999 — 275 с.

Рекомендована кафедрою електроніки

Надійшла до редакції 3.04.08
Рекомендована до друку 5.05.08

Осадчук Володимир Степанович — завідувач кафедри електроніки; **Осадчук Олександр Володимирович** — завідувач кафедри радіотехніки, **Барабан Сергій Володимирович**, **Ильченко Олена Миколаївна** — студенти Інституту магістратури, аспірантури та докторантури.

Вінницький національний технічний університет