

2. Інтегральні резистори

Інтегральний резистор є елементом ІС із заданим електроопором і топологією, який використовується в електричних колах для забезпечення необхідного розподілу струму і напруг між окремими ділянками кола. В ІС роль резисторів відіграють ділянки легованого напівпровідника однієї з областей транзисторної структури.

У гібридних ІС використовуються металеві плівки і пасти. Резистори виконуються в одному технологічному процесі разом з інтегральними транзисторами і діодами.

Інтегральні резистори на біполярних структурах поділяються на *дифузійні резистори*, *пінч-резистори*, *іонно-леговані резистори* (рис. 10.4) та плівкові резистори на основі полікристалічного кремнію.

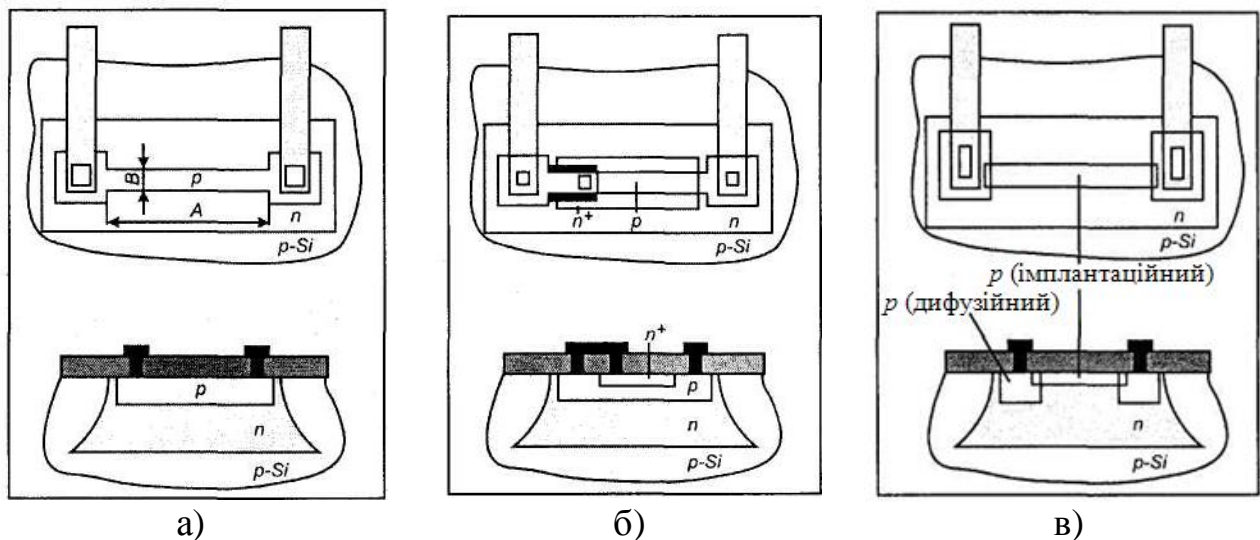


Рис. 10.4. Інтегральні резистори на основі біполярних транзисторних структур: а) дифузійний резистор; б) пінч-резистор; в) іонно-легований резистор.

Звичайно тіло резистора ототожнюється із смужкою завдовжки l , шириною b і товщиною d . Якщо струм протікає уздовж смужки паралельно її площині з питомим опором матеріалу ρ , то його опір

$$R = \frac{\rho l}{bd} = k_\phi R_s, \quad (10.1)$$

де $k_\phi = l/b$ – коефіцієнт форми, $R_s = \rho/d$ – питомий опір шару.

При коефіцієнті форми $k_\phi \leq 1$ резистори виготовляються у вигляді смужки. Якщо необхідні великі номінали, то резистор виконують у вигляді зигзагоподібної конструкції. Максимальний опір дифузійних резисторів не перевищує 60 кОм. Таким чином, номінальне значення резистора може бути отримано вибором топологічних параметрів, коефіцієнтом форми, а також технологічними параметрами – вибором матеріалу резистора і його товщини.

Дифузійні резистори виготовляються в епітаксійному шарі транзисторної структури (рис. 10.4, а). Залежно від необхідного номіналу і точності виготовлення дифузійні резистори можуть виготовлятися в емітерній, базовій або колекторній областях. Частіше за все дифузійний резистор формують в базовій області транзисторної біполярної структури. Вибір цього шару є компромісом між великими геометричними розмірами, які були потрібні б при виготовленні в емітерній області, і високим температурним коефіцієнтом опору резистора, якби резистор виконувався в слаболегованій області колектора.

У табл. 10.2 наведені параметри питомого поверхневого опору в різних дифузійних областях і характеристики реальних резисторів.

Таблиця 10.2

Питомий поверхневий опір в різних дифузійних областях і характеристики реальних резисторів

Тип дифузійного шару	Питомий поверхневий опір, Ом/см ²	Розкид номінальних значень опору, %	ТКО резисторів, град ⁻¹
Емітерний	2 – 3	± 20	$(1 - 5) \times 10^{-4}$
Базовий	100 – 300	± (5 – 20)	$(1,5 - 3) \times 10^{-3}$
Базовий, обмежений емітерним (пінч-резистор)	$(5 - 10) \times 10^3$	± (30 – 50)	$(3 - 6) \times 10^{-3}$
Колекторний на епітаксійному шарі	5×10^3	± 30	$(5 - 7) \times 10^{-3}$

Якщо необхідні номінали перевищують 60 кОм, то використовують конструкцію пінч-резистора (рис. 10.4, б). Великий питомий опір досягається за рахунок використання донної частини слаболегованої *p*-області. Максимальний опір пінч-резистора може досягати значення 200-300 кОм при простій смуговій конфігурації. Недоліком пінч-резисторів є великий розкид параметрів виготовлених структур, а також великий ТКО. Структура пінч-резистора схожа із структурою польового транзистора, і саме цей факт дозволяє отримати великі значення опору.

Емітерна сильнолегована низькоомна область дозволяє отримати опори в декілька Ом з температурним коефіцієнтом 0,01-0,02%/градус.

Високі питомі опори можуть бути забезпечені конструкцією *іонно-легованих резисторів* (рис. 10.4, в). Їх структура аналогічна дифузійним резисторам. Глибина залягання легованого і резистивного шарів складає 0,2 – 0,3 мкм. Оскільки товщина імплантованого шару мала і до резистивного шару важко приладнати омичні контакти, то формують дифузійні шари, що здійснюють омичний контакт.

Тонкоплівкові резистори застосовуються в напівпровідникових біполярних ІС в основному НВЧ-діапазону, а також в схемах на арсеніді галію.

Резистивний шар наноситься безпосередньо на поверхню нелегованої підкладки.

У кремнієвих цифрових ВІС використовуються резистивні шари полікристалічного кремнію завтовшки $0,2 \div 0,3$ мкм. Такі резистори розміщуються над транзисторами, щоб зменшити площу кристала.

Інтегральні резистори МДН-транзисторних структур являють собою, як правило, вбудовані між витком і стоком канали (рис. 10.5).

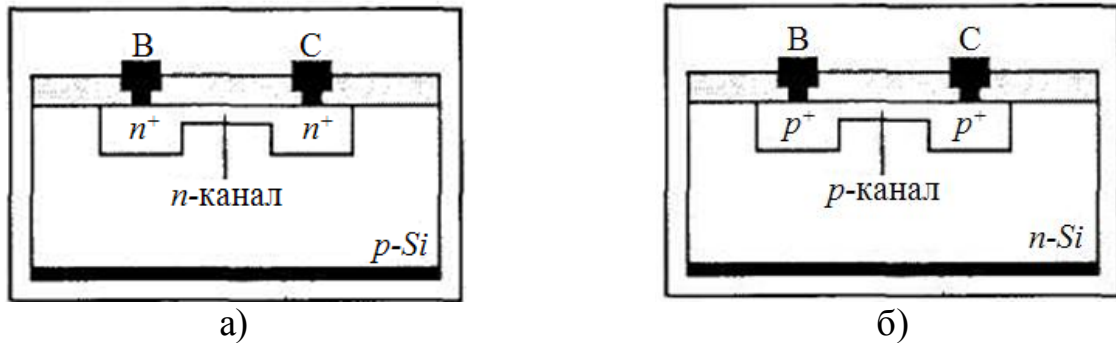


Рис. 10.5. Структура інтегрального МДН-резистора на основі витік-канал-стік в p - (а) і n -підкладках (б).

Номінали резистора визначаються як топологією резистивних структур, так і технологією його виготовлення. Звичайно канал вбудовується методом іонної імплантації. За своїми властивостями аналогічний раніше розглянутому іонно-легованому резистору.