

гл. ас. инж. Тодоров Д. Г. ТУ - София

Изследването и анализа на полупроводникови прибори и материали, както и усвояването на нови прогресивни технологии наложиха развитието и появата на ново поколение измервателна апаратура. През последните години се появиха стимулиращо-измервателните източници (СИМ) [1,2]. Интегрирани с персонални компютрите откриха нови, широки възможности за изследване и контрол в полупроводниково производство, както и за развитието на принципно нови измервателни технологии.

Разгледаните в [1,2] СИМ, организирани по структурната схема показана на фиг.1 притежават сравнително широк динамичен, диапазон удовлетворяващ изискванията на измервателната техника в областта на измерванията за входящ и изходящ контрол на полупроводниковите елементи.

По отношение на диапазона на измервания и генерираня ток, който в [1,2] е в обхвата до 1 nA с разрешаваща способност от 1 pA, има все още какво да се желае при измерването на нови изолационни материали и полупроводникови прибори (например тези от GaAs).

В известните решения обратната връзка по ток от изхода на СИМ, в режим генериране на ток се реализира по структурно-измервателната схема показана на фиг.1. Ограниченията в задаван-

то, респективно измерването на по-малки токове се обуславят от следните причини:

1. Входните поляризиращи токове на диференциалния усилвател, чрез който се измерва напрежителния спад върху измервателния резистор R_f пораждат адитивна грешка в процеса на измерване и генериране на ток.

$$/1/ \quad \delta(I_b) = \frac{I_b}{I_o} \quad ; \quad \delta(I_x) = \frac{I_b}{I_x}$$

където: I_b - входния поляризиращ ток на диференциалния усилвател.

I_o - генерирания изходен ток.

I_x - измервания неизвестен ток.

2. Грешка от утечния ток на изходния кабел. Тя зависи от съпротивлението на обекта R_t , през който се пропуска генерирания ток.

$$/2/ \quad \delta(R_{ут}) = \frac{R_t}{R_{ут} + R_t}$$

3. Входното съпротивление на диференциалния усилвател $R_{вх ду}$ също поражда грешка, посредством шунтиращото си действие върху измервателния резистор R_f .

$$/3/ \quad \delta(R_{вх ду}) = \frac{R_{вх ду}}{R_f + R_{вх ду}}$$

При допустима грешка $\delta(R_{вх ду}) = 1\%$ и $R_f = 10 \text{ } \Omega$ и измервателно-генераторен обхват $\hat{I} = 1 \text{ nA}$, $R_{вх ду}$ трябва да е $\geq 1 \text{ } \Omega$.

Този факт естествено налага ограничение при използването на тази конфигурация при генерирането на много-малки токове.

4. От друга страна при използването на сравнително високо-омни резистори $R_f \geq 1 \text{ G}\Omega$ се появява проблема с тяхната временна нестабилност. Това води до промяна коефициента на предаване на СИМ. От направения анализ в [3] се вижда, че отклонението на резистора R_f от номинала може да достигне до 20 %.

С оглед на разширяването възможностите за измерване и генериране на много-малки токове в обхватите под 10 pA е предложено и реализирано схемно решение на СИМ показано на фиг.2. Предимството на тази конфигурация е, че обхватния измервателен резистор R_f е във веригата на отрицателната обратна връзка на електромертичен усилвател с много-малки поляризиращи входни токове. Коефициента на предаване в режим

$$/4/ \quad K_{пр} = \frac{I_o}{I_o \cdot U_{цап}} = \frac{1}{K_{и\ ду} \cdot R_f}$$

а в режим на измервател на ток е:

$$/5/ \quad K_{пр} = \frac{U_{цап}}{I_x \cdot I_x} = K_{и\ ду} \cdot R_f$$

където: $K_{и\ ду}$ - коефициента на усилване на диференциалния усилвател.

$U_{цап}$ - напрежението задаващо стимулирания ток I_o .

$U_{цап}$ - напрежението отчитащо неизвестния измерван ток I_x .

Така например за $\delta (R_{вх\ ду}) \leq 0.1\%$, измервателен обхват 1 pA

реализиран с $R_f=100 \text{ G}\Omega$ и коефициент на усилване на електрометричния усилвател при отворена обратна връзка $A=100\ 000$, приведеното съпротивление между т.А и т.В от фиг.2 е $R_f \text{ пр} = 1 \text{ M}\Omega$, което от своя страна изисква $R_{вх} \text{ ду} \geq 1 \text{ G}\Omega$.

Особеност на предлаганата конфигурация е че потенциалната разлика между т.А и т.В е много-малка.

$$/6/ \quad U_A - U_B \approx \frac{I_0 \cdot R_f}{E_{МУ}} + \frac{U_{i0}}{E_{МУ}} = \frac{1 \cdot 10^{-12} \text{ A} \cdot 100 \cdot 10^9 \Omega}{100 \cdot 10^3} + 10 \cdot 10^{-6} \text{ V} = 11 \mu\text{V}$$

(при използване на електрометричен усилвател 3430J)

Резултата от /6/ позволява при работа в режим генератор на ток-измервател на напрежение, измерването да се извършва без намеса в изходната свързка - високоомна измервателна верига. Използването на потенциала на т.В за екраниране в изходния триалсиален свързващ кабел, позволява сравнително просто да се намали до възможния практически минимум утечния ток в изходния кабел.

Измерването на високоомни резистори се реализира посредством пропускане на еталонен ток през неизвестния резистор и отчитане на напрежителния спад върху него.

Прилагайки и метода за програмно-алгоритмична калибровка предложен в [4], е реализиран измервател на много-малки токове и свързка-високоомни резистори IR-01. Базовата точност е 0.2% за измерване на ток в обхватите от 10 nA да 1 pA, при максимална разрешителна способност 1fA и базова точност 0.5% при измерване на резистори в обхватите от 10kΩ до 2TΩ.

Изводи

* Изследвано е влиянието на факторите ограничаващи генерирането и измерването на свърх-малки токове в известните схеми решения.

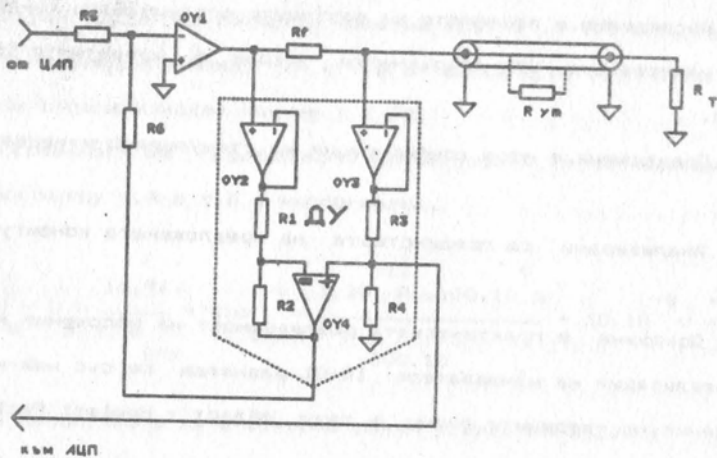
* Предложена е нова конфигурация на стимулиращо-измервателен модул.

* Анализирани са предимствата на предложената конфигурация на СИМ.

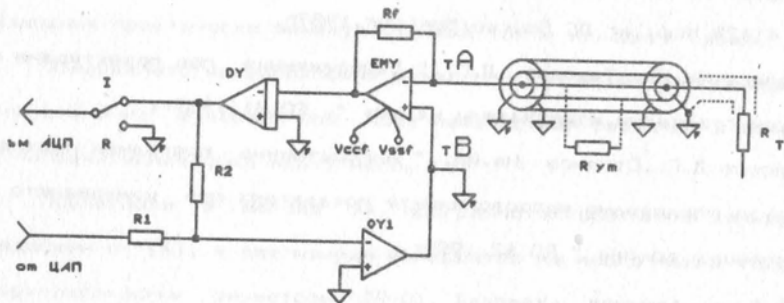
* Доказана е практическата реализуемост на посочения метод, чрез реализация на измервателя IR-01 равняващ се със най-новите постижения на водещите фирми в тази област - Hewlett Packard и Keithley.

Литература

1. Тодоров Д.Г., Стоянов Ив.Ил., Атанасова Е.А., "Компютърен характернограф-анализатор на полупроводникови прибори", Ден на радиото 1988г.
2. HP 4142B Modular DC Source/Monitor. 1989г.
3. Стоянов Ив.Ил., Тодоров Д.Г., "Съображения при проектиране на високочувствителни измерватели на ток", ЕП №1 1989г.
4. Тодоров Д.Г., Стоянов Ив.Ил., "Алгоритмично програмен подход и схема за повишаване метрологичните показатели при измерването на много-малки токове" ЕП №2 1989г.



Фиг. 1



Фиг. 2