

Рис. 3. Магниточувствительный мост из четырех одноколлекторных магнитотранзисторов

нал в диагонали моста при  $B=0$  равен нулю, и, во вторых, отсутствует дрейф нуля от температуры.

Практическая реализация такого сенсора показана на рис. 3. Каждая пара ОМТ изготовлена в отдельной пластине  $n$ -полупроводника, причем в верхней паре общим для двух ОМТ является  $p$ -эмиттер (Э), а в нижней —  $p$ -коллектор (К). В отсутствие магнитного поля траектории движения инжектированных дырок (сплошные линии при  $B=0$ ), токи и сопротивления всех четырех ОМТ равны, и выходной сигнал  $U=0$ . При включении магнитного поля инжектированные из эмиттеров дырки в транзисторах  $T_2$  и  $T_3$  отклоняются от  $s$ -области в сторону коллекторов (пунктирные траектории), и их сопротивление уменьшается, а в  $T_1$  и  $T_4$ , наоборот, дырки отклоняются к  $s$ -области, и их сопротивление увеличивается. Происходит разбаланс моста, и  $U$  растет с увеличением  $B$ .

Опытные образцы сенсоров изготавливались из высокоомного кремния с удельным сопротивлением 20 кОм·см как материала, имеющего наибольшее значение длины диффузионного смещения инжектированных носителей заряда. Размеры эмиттеров и коллекторов 0,6×0,6 мм, расстояние между ними 0,8 мм, технология создания электродов — обычная для кремниевых полупроводников. При напряжении питания моста  $E=30$  В и потребляемом токе 1,3 мА магниточувствительность  $\gamma=U/(IB)$  достигает  $3 \cdot 10^5$  В/(А·Тл), что на порядок выше, чем у одиночных ОМТ [1].

Аналогичный измерительный мост можно реализовать и из двух двухколлекторных магнитотранзисторов (ДМТ) с противоположным типом проводимости, показанных на рис. 4. Принцип действия каждого ДМТ, например  $p-n-p$ -типа, заключается в том, что в отсутствие магнитного поля инжектированные из эмиттера дырки распределяются поровну между

коллекторами, их токи равны и разность потенциалов между коллекторами  $U=0$ . Магнитное поле отклоняет дырки в сторону одного из коллекторов, его ток увеличивается, а второго — уменьшается. Если в цепях коллекторов включены нагрузочные резисторы, то  $U$  растет с увеличением  $B$ .

Включение вместо нагрузочных резисторов второго ДМТ  $n-p-n$ -типа также позволяет увеличить магниточувствительность и устранить дрейф нуля моста от температуры. В этом случае при указанном направлении магнитной индукции токи коллекторов  $K_2$  увеличиваются, а коллекторов  $K_1$  — уменьшаются, и напряжение в диагонали моста  $U$  также растет с увеличением  $B$ . При смене направления  $B$  меняется и знак  $U$ .

Экспериментальные образцы ДМТ  $p-n-p$ - и  $n-p-n$ -типа изготавливались из кремния с удельным сопротивлением 200 Ом·см, длина коллекторов 200 мкм, расстояние между ними 150 мкм, эмиттер 30×30 мкм. При напряжении питания  $E=90$  В, токе моста 5 мА магниточувствительность достигает  $10^6$  В/(А·Тл), что на порядок больше, чем у датчика на одном ДМТ.

\*\*\*

Таким образом, созданы мостовые конструкции полупроводниковых магниточувствительных сенсоров, имеющие на порядок большую чувствительность за счет того, что все четыре элемента моста реагируют на действие внешнего магнитного поля.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Викулина Л. Ф. Магниточувствительные транзисторы // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 1998. — № 1. — С. 25—27.
2. Викулина Л. Ф., Глауберман М. А. Физика сенсоров температуры и магнитного поля. — Одесса: Маяк, 2000.

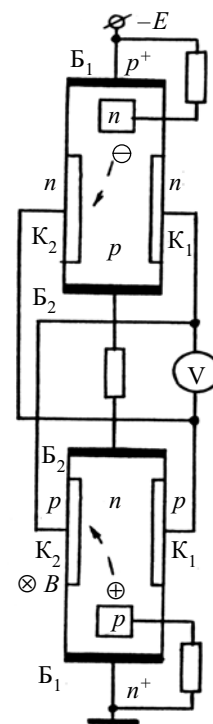


Рис. 4. Мостовая схема из двух двухколлекторных магнитотранзисторов с противоположной проводимостью