

МАГНИТОДИОДЫ С ПОЛЯРНЫМ МАГНИТОДИОДНЫМ ЭФФЕКТОМ

Г. А. ЕГИАЗАРЯН, М. С. БАРХУДАРЯН, Ю. С. МАНВЕЛЯН, В. И. МУРЫГИН

Исследована возможность создания магнитодиодов с различным знаком магниточувствительности в зависимости от направления магнитного поля. Определены условия, необходимые для получения полярного магнитодиодного эффекта. Показано, что для полярной магниточувствительности необходимо иметь области с различной скоростью поверхностной рекомбинации на противоположных поверхностях базы магнитодиода. При этом для толщины и длины базы должны выполняться следующие соотношения:

$$1 > h/L_a > 10^{-2}, \quad d/L_a > 3.$$

Описан механизм, приводящий к полярной магниточувствительности.

Для ряда устройств автоматики, телемеханики и вычислительной техники крайне необходимы кремниевые магнитодиоды с различным знаком магниточувствительности в зависимости от направления магнитного поля. Выпускаемые в настоящее время отечественной промышленностью магнитодиоды КД301 обладают чувствительностью только к величине магнитного поля [1], а магнитодиоды КД303 — и к направлению магнитного поля [2]. Однако они не меняют магниточувствительности в зависимости от направления магнитного поля, что весьма ограничивает область их применения.

В работе [3] показано, что магниточувствительность магнитодиодов и полярный магнитодиодный эффект в сильной степени зависят от обработки поверхности полупроводниковой пластины и наличия на ней областей с различными скоростями поверхностной рекомбинации.

В настоящей работе приводятся результаты исследования возможности и необходимых условий создания конструкции и технологии магнитодиодов со сменой знака магниточувствительности в зависимости от направления магнитного поля. Назовем их полярными магнитодиодами.

Для разработки конструкции полярных магнитодиодов необходимо определить зависимость их характеристик от ряда параметров. Основными из этих параметров являются удельное сопротивление ρ полупроводника, объемное время жизни τ носителей тока, скорости поверхностной рекомбинации S_1 и S_2 на противоположных поверхностях высокоомной базы, длина d и толщина h базы магнитодиода (рис. 1).

Полярные магнитодиоды изготавливались по методике, описанной в работе [4]. Они имели p^+-p -структуру. При комнатной температуре амби-полярная диффузионная длина носителей L_a составляла $5 \cdot 10^{-2} \div 9 \cdot 10^{-2}$ см. Для обеспечения полярной магниточувствительности на противоположных поверхностях магнитодиода путем обработки поверхности кремния в бихромате калия и нанесения металлического слоя изготов-

лялись области соответственно с малой (S_1) и большой (S_2) скоростями рекомбинации. Значения S_1 и S_2 в зависимости от степени обработки соответствующих поверхностей изменялись в достаточно широком диапазоне.

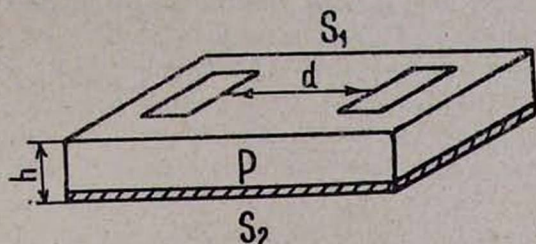


Рис. 1. Конструкция магнитодиода с полярной магниточувствительностью.

На рис. 2 представлены вольт-тесловые характеристики магнитодиода с $d/L_a = 3$ и $h/L_a = 0,5$ для безразмерной скорости поверхностной рекомбинации $S_F = S_2 L_a / D = 10$ при токе 3 мА и различных значениях $S_s = S_1 L_a / D$ (D — коэффициент диффузии). S_s характеризует различие

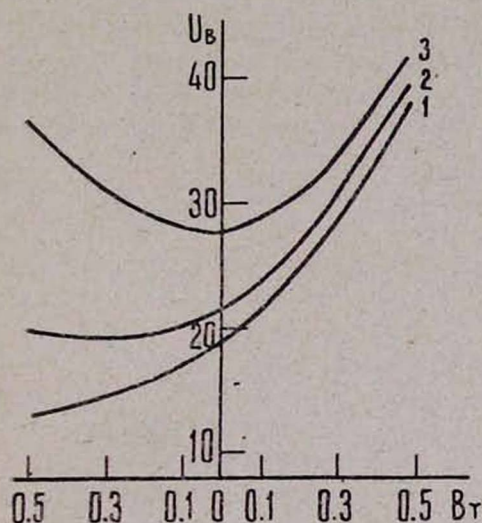


Рис. 2. Вольт-тесловые характеристики магнитодиода при различных значениях S_s : 1—0,1; 2—1; 3—5.

рекомбинационных условий в данной области и в объеме базы магнитодиода. Для кремния S_s может быть как больше единицы, так и меньше единицы. Из рисунка следует, что для направления магнитного поля $B > 0$, при котором носители тока под действием силы Лоренца отклоняются к поверхности с областью S_2 , падение напряжения на магнитодиоде увеличивается с ростом магнитного поля, т. е. обнаруживается положительная магниточувствительность. Для направления магнитного поля $B < 0$, при котором носители тока отклоняются к поверхности с областью S_1 , при малых значениях S_s ($S_s \leq 1$) падение напряжения уменьшается с ростом магнитного поля, т. е. наблюдается отрицательная магниточувствительность.

Это явление можно объяснить тем, что при направлении магнитного поля $B > 0$ вблизи поверхности с областью S_1 образуется сильно обедненный слой, а при направлении $B < 0$ — сильно обогащенный слой. Образование этих слоев у поверхности с областью S_1 , в основном, и определяет полярность магнитодиодного эффекта в «тонкой» базовой области. При постоянном значении магнитного поля отрицательная магниточувствительность растет с уменьшением S_s , и наоборот. Эта зависимость наблюдается в большом диапазоне магнитных полей. Каждому значению S_s соответствует определенный диапазон значений магнитных полей, при которых появляется отрицательная магниточувствительность. С уменьшением S_s этот диапазон расширяется, а с увеличением — уменьшается.

Таким образом, можно сформулировать первое необходимое условие существования полярного магнитодиодного эффекта — это условие $S_s \leq 1$, т. е. существенный полярный эффект проявляется в широком диапазоне магнитных полей только при относительно малых значениях S_s . С ростом магнитного поля отрицательная магниточувствительность исчезает и происходит инверсия ее знака.

На рис. 3 приведены вольт-тесловые характеристики магнитодиодов с $S_s = 0,1$ при различных значениях S_F . Для каждого значения S_F существует определенный диапазон значений магнитного поля, в котором

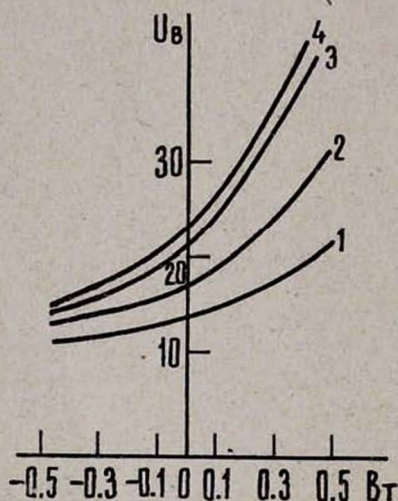


Рис. 3.

Рис. 3. Вольт-тесловые характеристики магнитодиода с $d/L_a = 3$, $h/L_a = 0,5$ при различных значениях S_F : 1—2; 2—5; 3—20; 4—50.

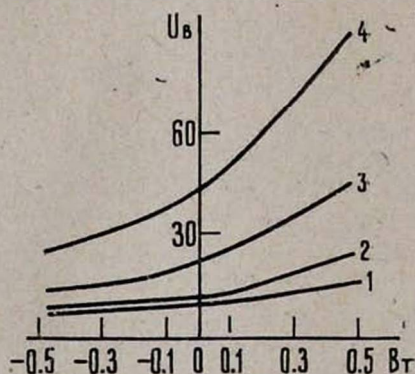


Рис. 4.

Рис. 4. Вольт-тесловые характеристики магнитодиодов с $d/L_a = 3$ при различных значениях h/L_a : 1—2; 2—1; 3—0,5; 4—0,2.

наблюдается отрицательная магниточувствительность; при этом с увеличением S_F этот диапазон значительно расширяется. При $S_F = 1$ и не очень малых значениях S_s отрицательная магниточувствительность исчезает. Отрицательная магниточувствительность исчезает и при $S_s = S_F$, а положительная стремится к нулю при малых значениях магнитных полей.

Как при рассмотрении роли поверхности с областью S_1 , так и в этом случае носители тока при направлении магнитного поля $B > 0$ отклоня-

ются к поверхности с областью S_2 и успевают рекомбинировать. В итоге в большей части базы создается обедненный слой. При направлении $B < 0$ носители тока отклоняются от поверхности с областью S_2 , и у поверхности S_1 образуется обогащенный слой.

Таким образом, можно сформулировать второе необходимое условие существования полярного магнитодиодного эффекта—это условие $S_F > 1$, т. е. значительный полярный магнитодиодный эффект наблюдается в широком диапазоне значений магнитных полей при больших значениях S_F .

Для получения полярного магнитодиодного эффекта наряду с областями с малой и большой скоростями рекомбинации определенную роль играют толщина h и длина d базы магнитодиода. На рис. 4 изображены вольт-тесловые характеристики магнитодиодов для различных значений h/L_a при $S_s = 0,1$ и $S_F = 20$. Из рисунка следует, что с ростом магнитного поля при направлении $B > 0$ возникает положительная магниточувствительность. С уменьшением толщины базы положительная магниточувствительность растет. При направлении $B < 0$ для малых значений h/L_a возникает отрицательная магниточувствительность, которая с увеличением толщины ($h/L_a > 1$) при больших полях переходит в положительную магниточувствительность. Каждому значению h/L_a соответствует определенный диапазон значений магнитного поля, в котором проявляется отрицательная магниточувствительность. При уменьшении толщины базы этот диапазон заметно расширяется.

Полученные результаты показывают, что полярный магнитодиодный эффект проявляется в достаточно широком диапазоне магнитных полей только в магнитодиодах с $1 > h/L_a > 10^{-2}$. При других сочетаниях значений S_s и S_F наблюдаются аналогичные закономерности (при этом $S_s < 1$, $S_F > 1$).

Роль толщины в получении магнитодиодного эффекта заключается в обеспечении эффектов накопления и расходования носителей тока в базе, обуславливаемых зонами рекомбинации. В магнитодиодах с относительно большим отношением h/L_a при направлении магнитного поля $B < 0$ из-за объемной рекомбинации генерированных с поверхности с областью S_2 носителей не происходит заметного накопления носителей в базовой области, и поэтому отрицательная магниточувствительность не наблюдается.

В магнитодиодах с относительно малым значением h/L_a объемная рекомбинация слабо влияет на генерированные с поверхности с областью S_2 носители, и в итоге в базе происходит накопление носителей, т. е. образуется обогащенный носителями слой. Последний и приводит к образованию отрицательной магниточувствительности в широком диапазоне значений магнитного поля. Таким образом, третье необходимое условие существования заметного полярного магнитодиодного эффекта можно сформулировать в виде $h/L_a \lesssim 1$.

Полярная магниточувствительность при прочих условиях в сильной степени зависит от длины базы магнитодиода. На рис. 5 приведены вольт-тесловые характеристики магнитодиодов с рассмотренными выше параметрами для $h/L_a = 0,5$ и различных значений d/L_a . Из рисунка следует,

что с ростом d/L_a магниточувствительность увеличивается. С ростом d/L_a увеличивается и диапазон значений магнитных полей, при которых наблюдается отрицательная магниточувствительность.

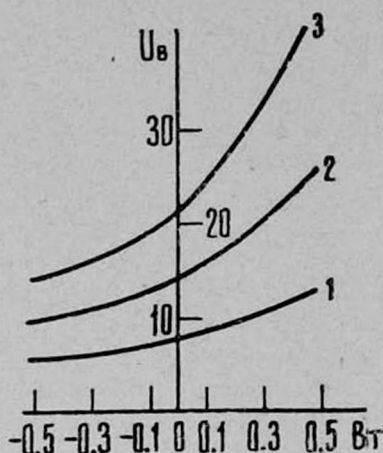


Рис. 5. Вольт-тесловые характеристики магнитодиодов с $h/L_a = 0,5$, $S_s = 0,1$, $S_F = 20$ при различных значениях b/L_a : 1—2; 2—3; 3—4.

Проведенные исследования показали, что полярный магнитодиодный эффект существенно зависит от объемного времени жизни носителей тока. С уменьшением τ уменьшается и полярная магниточувствительность. Приведенные выше зависимости полярного магнитодиодного эффекта от целого ряда параметров позволяют разработать конструкцию и требования, предъявляемые к технологии магнитодиодов с полярным магнитодиодным эффектом.

Поступила 17.IV.1979

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Паринов, Ю. В. Кружанов. Электронная промышленность, 3, 44 (1973).
2. Г. А. Елизарян и др. ФТП, 9, 1252 (1975).
3. Э. И. Каракушен, В. И. Стафеев. Сборник трудов симпозиума «Электронные процессы на поверхности монокристаллических слоев полупроводников», Новосибирск, 1967.
4. Г. А. Елизарян, Г. А. Мнацаканян, А. Х. Авагян. Изв. АН АрмССР, Физика, 14, 206 (1979).

ՔԱՆԿԱՆՈՒՄԻ ՄԱԳՆԵՏԱԴԻՈԴԻԱՅԻՆ ԷՖԵԿՏՈՎ ՄԱԳՆԵՏԱԴԻՈԴՆԵՐ

Գ. Ա. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Մ. Ս. ԲԱՐԵՆՈՒԴԱՐՅԱՆ, ՅԱ. Ս. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ,
Վ. Ի. ՄՈՒՐԻԳՅԱՆ

Աշխատանքում ուսումնասիրվում է մագնիսական դաշտի ուղղությունից կախված մագնիսազգայնության տարրեր նշան ունեցող մագնիսադիոդների ստեղծման հնարավորությունը: Բերվում են համապատասխան պայմաններ այդ էֆեկտի իրականացման համար:

MAGNETODIODES WITH THE POLAR MAGNETODIODE
EFFECT

H. H. YEGHIAZARYAN, M. S. BARKHUDARYAN, Yu. S. MANVELYAN,
V. I. MURYGIN

The possibility to develop the magnetodiodes having magnetosensitivity of various signs depending on the direction of a magnetic field is discussed. The necessary conditions for the obtaining of the polar magnetodiode effect were determined. The mechanism producing the polar magnetosensitivity is described.