

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УСЛОВИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ПАРАМЕТРЫ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ ТОКА ИНФРАНИЗКИХ ЧАСТОТ В Si(S)

М. К. Бахадырханов, Ш. И. Аскарров, У. Х. Курбанова

Ташкентский государственный технический университет им. Беруни, 700206, Ташкент, Узбекистан

(Получена 28 мая 1992 г. Принята к печати 22 апреля 1993 г.)

Исследованы влияния продольного и поперечного магнитного поля H на условия возбуждения и параметры колебаний тока в p -Si(S) с удельным сопротивлением $\rho \geq 10^3$ Ом · см.

Показано, что с ростом H величина порогового электрического поля, при котором возбуждаются колебания, линейно возрастает. При этом величина коэффициента пропорциональности повышалась с ростом ρ ($10^{-3} + 10^3$ Ом · см), изменяясь в пределах 2.6 ÷ 5.6 мВ/Э для поперечного и 2.0 ÷ 54.0 мВ/Э продольного магнитного поля.

Установлено, что с ростом H амплитуда колебаний тока линейно возрастает, а их частота линейно уменьшается.

Результаты исследования колебаний тока и наблюдавшаяся в образцах Si(S) остаточная проводимость объясняется в модели случайного потенциального рельефа, обусловленного высокой степенью компенсации.

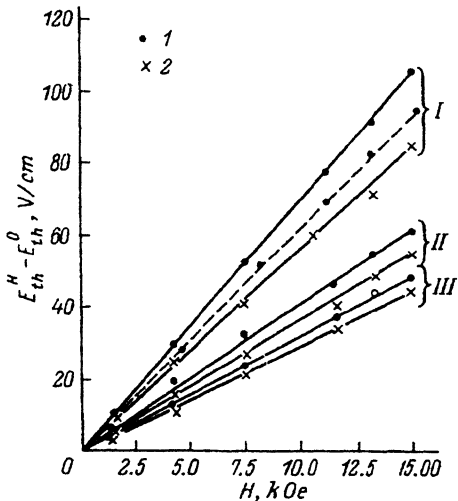
В работе [1] сообщалось об обнаружении в кристаллах кремния p -типа проводимости с удельным сопротивлением $\rho > 10^3$ Ом · см при температуре жидкого азота колебаний тока инфранизких частот ($10^{-3} + 10$ Гц), отличающихся большой амплитудой (≈ 300 мА) и большой глубиной модуляции (почти 100%). Колебания тока в кристаллах возбуждались при наличии слабого интегрального освещения J (0.1 ÷ 10 ЛК), когда величина электрического поля превышала некоторое критическое значение $E_{\text{к}}^0$ (2000 ÷ 400 В/см). Хотя условия возбуждения и параметры колебаний тока свидетельствовали в пользу проявления в материале температурно-электрической неустойчивости тока [2-4], сильная зависимость частоты колебаний тока от величины электрического поля все же не укладывалась в рамки такой модели.

В связи с этим для получения дополнительной информации о природе наблюдаемого явления нами проведена работа по исследованию влияния как продольного, так и поперечного магнитного поля на условия возбуждения и параметры колебаний тока в Si(S). Такие исследования важны тем, что они расширяют функциональные возможности приборов, использующих данное явление: например, могут быть созданы магниточувствительные полупроводниковые приборы с амплитудно-частотным модулированным выходным сигналом.

Опыты проводились на кристаллах p -Si(S) с $\rho \geq 10^3$ Ом · см размерами $8 \times 3 \times 1$ мм, полученных путем диффузионного легирования в интервале температур 1150 ÷ 1200 °С. В качестве исходного материала использовались образцы монокристаллического кремния марки КДБ с $\rho = 1$ Ом · см, измерения проводились в слабых (до 15 кЭ) магнитных полях.

Исследование влияния магнитного поля на условия возбуждения колебаний тока показали, что с ростом H величина порогового электрического поля $E_{\text{к}}^H$ смещалась в сторону больших полей. На рис. 1 приведено относительное изме-

Рис. 1. Изменение порогового поля E_{th}^H от величины продольного (штриховая линия) и поперечного (сплошные) магнитного поля H для образцов Si с различным ρ . ρ , Ом·см: I — $1.6 \cdot 10^5$, II — $2 \cdot 10^4$, III — $2 \cdot 10^3$. J , лк: 1 — 0.5, 2 — 1; $T = 77$ К.



нение порогового поля от величины продольного и поперечного магнитного поля для образцов с различным ρ , т. е. с различной степенью компенсации при двух значениях интенсивности интегрального освещения. Из рисунка следует, что независимо от направления магнитного поля и интенсивности интегрального освещения с ростом H величина E_{th}^H линейно возрастает в соответствии с выражением $E_{th}^H = E_{th}^0 + \gamma_E H$. При этом

величина коэффициента γ_E возрастает с ростом удельного сопротивления образцов ρ ($10^{-3} \div 1.8 \cdot 10^5$) Ом·см, изменяясь в пределах (2.6 ÷ 5.6) мВ/Э для поперечного и (2.0 ÷ 4.0) мВ/Э продольного магнитного поля. С ростом интенсивности интегрального освещения величина γ_E несколько снижается независимо от ρ образцов.

При исследовании влияния магнитного поля на параметры колебаний тока величина электрического поля подбиралась таким образом, что она несколько превышала значения E_{th}^H при 15 кЭ. Такой выбор величины электрического поля продиктован тем, что если $E < E_{th}^H$, то при достижении величины магнитного поля H колебания тока в цепи срывались, т. е. имело место магнитное гашение колебаний тока. Для восстановления колебаний тока при заданном H необходимо было либо увеличить E до E_{th}^H , либо повысить интенсивность интегрального освещения, так как с ростом J величина E_{th}^H снижается (рис. 1).

На рис. 2 приведены относительные изменения амплитуды I_H (а) и частоты f_H (б) колебаний тока в зависимости от величины поперечного магнитного поля для образцов с различным ρ . Как видно из рис. 2, с увеличением H амплитуда колебаний тока для всех образцов линейно увеличивается, а их частота линейно уменьшается. В общем виде изменения амплитуды и частоты колебаний тока могут быть описаны выражениями $I_H = I_0 + \gamma_A H$ и $f_H = f_0 - \gamma_f H$, где γ_A , γ_f — коэффициенты пропорциональности. С ростом ρ образцов в пределах ($10^3 \div 1.6 \cdot 10^5$) Ом·см коэффициенты γ_A и γ_f возрастали соответственно в пределах (0.15 ÷ 0.8) и (2 ÷ 1.2)% кЭ.

Для выяснения причин изменения условий возбуждения и параметров колебаний тока в образцах Si(S) под влиянием магнитного поля было измерено магнитосопротивление ρ_H всех образцов. Результаты показали, что во всех образцах величина ρ_H значительно превышала обычное магнитосопротивление и практически не зависела от направления магнитного поля. Образцы с большим ρ имели большие значения ρ_H . С ростом интенсивности интегрального освещения ρ_H для всех образцов независимо от направления магнитного поля уменьшалась.

Обычно появление большого продольного магнитосопротивления характерно для полупроводниковых материалов с хаотическим распределением потенциального рельефа, т. е. для неоднородных материалов [4]. О неоднородности материала свидетельствует также обнаруженная в образцах Si(S) с аналогичными параметрами остаточная проводимость с большой кратностью изменения величины про-

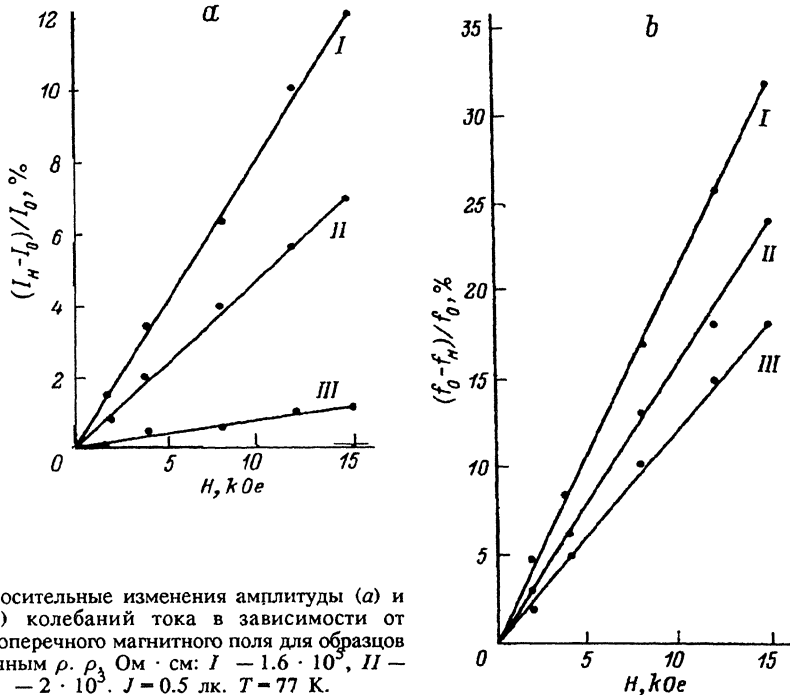


Рис. 2. Относительные изменения амплитуды (а) и частоты (б) колебаний тока в зависимости от величины поперечного магнитного поля для образцов Si с различным ρ . ρ_3 Ом · см: I — $1.6 \cdot 10^3$, II — $2 \cdot 10^4$, III — $2 \cdot 10^5$. $J = 0.5$ лк. $T = 77$ К.

проводимости [5]. В связи с этим, основываясь на достаточно хорошей корреляции, с одной стороны — условий возбуждения и параметров колебаний в зависимости от величины и направления магнитного поля для образцов с различным ρ , а с другой — результатов по магнитосопротивлению и кратности остаточной проводимости, можно утверждать, что уточнение природы колебаний тока требует учета неоднородности материала. Поэтому образцы Si(S) с высокой степенью компенсации K , в которых выполняется условие $(K-1) \ll 1$, можно рассматривать как материал, содержащий высокоомные включения, погруженные в низкоомную матрицу, имеющий случайный потенциальный рельеф и характеризующийся наличием дрейфового и рекомбинационного барьеров.

При этом процесс возбуждения колебаний тока можно объяснить следующим образом. При освещении образцов Si(S) интегральным светом происходит разделение фотовозбужденных носителей на потенциальном рельефе. Электроны преимущественно захватываются на глубокие донорные уровни серы $E_c - 0.53$ эВ, а дырки накапливаются в возвышенностях валентной зоны. Из-за пространственной разделенности и наличия рекомбинационного барьера между ними процесс их рекомбинации маловероятен. Поэтому накопление дырок в возвышенностях валентной зоны будет происходить до тех пор, пока полный ток, определяющийся дырками на уровне протекания, окажется достаточным для джоулева нагрева кристалла. Вследствие этого температура образца повышается, что сопровождается увеличением выброса дырок на уровень протекания и дальнейшим ростом температуры. Поэтому концентрация дырок на уровне протекания лавинообразно нарастает, что в свою очередь сопровождается резким ростом тока в цепи и температуры образца. Это приводит к выбросу электронов с уровня серы в зону проводимости с последующим захватом их на уровень рекомбинации. Вследствие рекомбинации электронов с дырками ток в цепи резко уменьшается и образец остывает, фоточувствительность образца восстанавливается, затем процесс повторяется.

В неоднородном материале без влияния магнитного поля независимо от его направления носители тока отклоняются к боковым граням образца с одинаковой амбиполярной скоростью. Вследствие этого возле одной грани концентрация носителей повышается, а в противоположной снижается. Это вызовет изменение средних по сечению образца концентраций электронов и дырок. Активная полоса, по которой распространяются колебания тока, располагается вдоль грани, к которой отклоняются носители, так как этот слой является наиболее низкоомным. Однако этот слой расположен близко к поверхности кристалла, а на поверхности кристалла существует достаточно большая концентрация рекомбинационных центров, которые существенно ускоряют скорость рекомбинации неравновесных носителей тока. Вследствие этого средняя концентрация носителей тока под влиянием магнитного поля снижается и сопротивление образца возрастает. Это приводит к уменьшению выделяемой мощности при заданном электрическом поле и, следовательно, к нарушению условий возбуждения колебаний тока. Потерянная мощность может быть восстановлена за счет увеличения напряженности электрического поля, поэтому величина порогового поля E_{th}^H в магнитном поле возрастает. Концентрация может быть восстановлена путем повышения интенсивности интегрального освещения. Поэтому с ростом J величина E_{th}^H понижается. Уменьшение скорости нагрева при $E > E_{th}^H$ приводит к уменьшению частоты колебаний тока и увеличению времени накопления дырок. При этом концентрация накопленных дырок в возвышенностях валентной зоны увеличивается, что приводит к росту амплитуды колебаний тока.

В заключение следует отметить, что на основе неустойчивостей тока в Si(S) могут быть созданы магниточувствительные приборы с амплитудно-частотным модулированным выходным сигналом, позволяющие регистрировать магнитное поле независимо от направления по изменению трех параметров: E_{th}^H , частоты и амплитуды колебаний тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] М. К. Бахадырханов, Ш. И. Аскарлов, С. С. Нигматходжаев, К. Самигов, Б. З. Шарипов, И. П. Парманкулов. ФТП, 21, 1315 (1987).
- [2] М. К. Бахадырханов, Н. Ф. Зикриллаев. ФТП, 18, 2220 (1984).
- [3] С. Г. Калашников, Г. С. Падо, В. И. Пустовойт, Е. Ф. Токарев. ФТП, 3, 1028 (1969).
- [4] А. Ш. Абдинов, В. К. Мамедов, Э. Ю. Салаев. ФТП, 14, 754 (1980).
- [5] Ш. И. Аскарлов, Б. З. Шарипов, Н. Норкулов, Х. Аскарова. Тез. докл. конф. по фотоэлектрическим явлениям в полупроводниках, 237. Ташкент (1989).

Редактор Л. В. Шаронова