

Письма в ЖЭТФ, том 15, вып. 5, стр. 253 – 256

5 марта 1972 г.

**МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ИНЖЕКЦИОННО-ПОЛЕВОЙ ЭФФЕКТ
В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

Л. С. Гасанов, В. Я. Коварский, Ю. В. Кружанов, В. И. Стафеев

Известно, что магнитодиодный эффект [1, 2] – эффект изменения в магнитном поле \mathbf{B} неравновесной проводимости полупроводника, создаваемой инъекцией носителей заряда, обусловлен зависимостью

отношения эффективного расстояния между инжектирующими контактами $d_{\text{эфф}}$ и эффективной длины диффузионного смещения $L_{\text{эфф}}$ от B . $L_{\text{эфф}}$ может меняться в результате изменения в магнитном поле подвижности носителей заряда или их эффективного времени жизни $\tau_{\text{эфф}}$, которое определяется объемной и поверхностной рекомбинацией. В последнем случае величина магнитодиодного эффекта зависит от состояния поверхности полупроводника, в частности, от скорости поверхностной рекомбинации S [3 - 5].

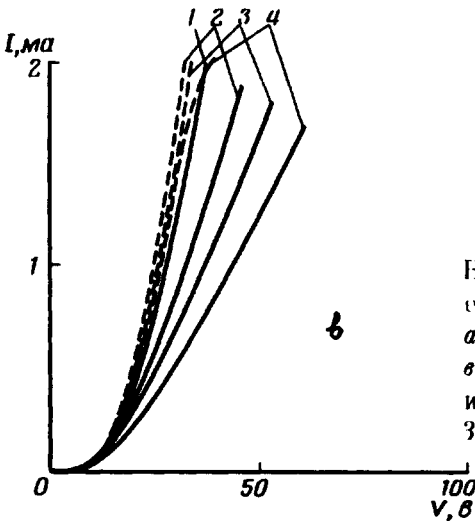
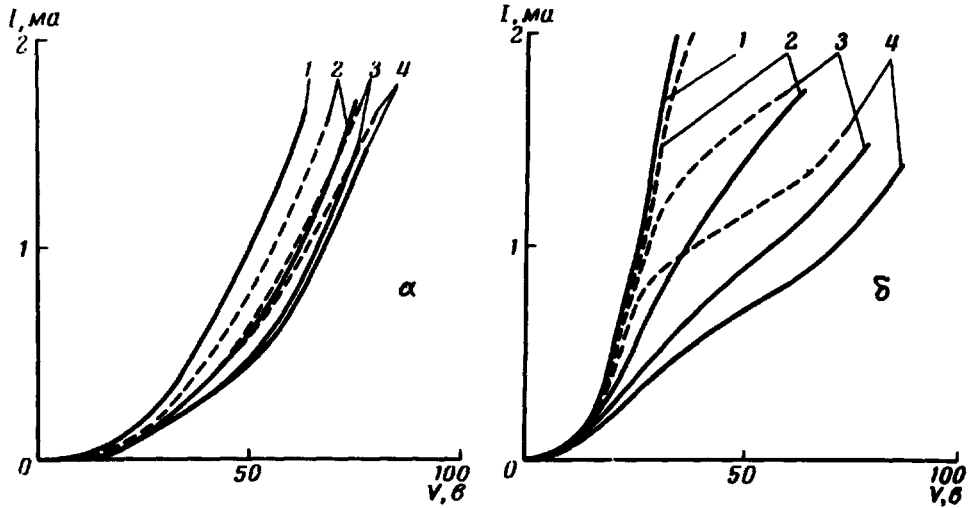
Так как S является функцией поверхностного потенциала ψ_s , то скоростью поверхностной рекомбинации можно управлять с помощью внешнего электрического поля E_s , перпендикулярного поверхности полупроводника, которое приводит к изменению ψ_s . Поэтому в образцах полупроводника, толщина которых $\ell \lesssim L_{\text{эфф}}$, $\tau_{\text{эфф}}$ и, следовательно, $L_{\text{эфф}}$ должны определяться и величиной E_s . В этом случае при изменении E_s следует ожидать изменения отношения $d_{\text{эфф}}/L_{\text{эфф}}$ (и при $B \neq 0$) и, соответственно, величины инжекционной проводимости полупроводника. Известно, что зависимость $S(\psi_s)$ для различно обработанной поверхности полупроводника может быть "монотонной" или "немонотонной" (в простейшем случае - "колоколообразной") [6]. Соответственно этому будет меняться и величина рассматриваемого эффекта. При этом следует учитывать зависимость S от уровня инжекции.

При инжекции даже в слабых магнитных полях возникает переменная плотность тока по сечению образца, определяющая образование заметных поперечных токов в приконтактных областях ¹⁾. Если толщина образца сравнима или меньше дебаевской длины экранирования L_D , то при $E_s \neq 0$ могут измениться распределения концентраций инжектированных носителей заряда во всем образце и, следовательно, продольные и поперечные токи. В результате изменится величина инжекционной проводимости полупроводника. При этом необходимо учитывать также изменение холловской подвижности и подвижности по проводимости, которые в области пространственного заряда зависят от E_s . Заметим, что эти эффекты при определенных условиях будут существенны и в рассмотренном выше случае, когда $\ell \lesssim L_{\text{эфф}}$.

Изменение инжекционной проводимости полупроводника в магнитном поле и внешнем электрическом, перпендикулярном поверхности полупроводника, будем называть магниточувствительным инжекционно-полевым эффектом (МИП-эффектом). Этот эффект изучался в Si p -типа с $\rho \approx 20 + 100$ ком·см и $\tau_h \approx 200 + 800$ мксек. Образцы формировались на пластинах толщиной $100 + 300$ мкм в виде планарных структур типа p^+-p-n . Для изготовления p^+-p -контакта использовался Al, для $p-n$ -перехода - сплав Au + Sb. Расстояние между контактами d варьировалось так, что отношение $d/L_{\text{эфф}}$ изменялось в пределах $1 + 12$. Поверхность образцов после соответствующей обработки покрывалась слоем SiO_2 толщиной ~ 1 мкм. Затем над областью между инжектирующими контактами на слой SiO_2 напылялся

¹⁾ Это явление до сих пор не учитывалось при количественном анализе магнитодиодного эффекта [5, 7].

полевой электрод, который использовался для создания поля E_s . Измерения проводили в кристате в интервале температур $100 \pm 500^\circ\text{K}$ и в магнитных полях до 8 кГс . Вольт-амперные характеристики (ВАХ) структур на постоянном токе регистрировались на двухкоординатном самописце, на переменном токе — на характеристографе.



Вольт-амперные характеристики кремниевых p^+-p-n -структур в магнитном поле: $a - V_g = 0 \text{ в}$; $б - V_g = 30 \text{ в}$; $в - V_g = 65 \text{ в}$. Сплошные (при $B = B_-$) и пунктирные (при $B = B_+$) кривые 1, 2, 3, 4 для $B = 0, 3, 5, 7 \text{ кГс}$, соответственно

На рисунке представлены семейства ВАХ типичного образца при различных значениях B и различных потенциалах полевого электрода V_g относительно антизапорного контакта. Магнитное поле, перпендикулярное линиям тока, протекающего через структуру, имело два направления: при одном (B_+) инжектированные носители отклонялись к поверхности полупроводника с полевым электродом, при другом (B_-) — в противоположную сторону. Из анализа рисунка следует, что инжекционная проводимость полупроводника сильно зависит от V_g при обоих направлениях B . Магниточувствительность γ_v с ростом

отрицательного V_g вначале увеличивается, достигает максимального значения, а затем уменьшается, изменяясь от 2 до 7 $v/кгс$. Максимум γ_v в этом образце наблюдался при $V_g \approx -30 v$ для обоих направлений B . Заметим, что при качественном совпадении наблюдаемых зависимостей имеется количественное отличие эффекта для разных направлений магнитного поля. ВАХ образца в поле B_- изменяются сильнее, чем в поле B_+ . Кривые рисунка показывают также, что при увеличении отрицательного V_g все семейства ВАХ смещаются в область меньших напряжений, причем это смещение больше в магнитном поле B_+ , чем в поле B_- . Магниточувствительный инжекционно-полевой эффект наблюдался и при другой полярности V_g , а также при подключении управляющего напряжения относительно другого контакта. На МИП-эффект и его зависимость от V_g влияет, кроме того, освещение образца через прозрачный полевой электрод видимым светом. МИП-эффект обнаружен и в образцах, изготовленных из Si, легированного примесями с глубокими уровнями (Ni и др.), и в кремниевых структурах с S-образными ВАХ (при $E_s \neq 0$ изменяется γ_v , область отрицательного сопротивления на ВАХ и др.).

В заключение отметим, что полученные экспериментальные результаты качественно согласуются с изложенными выше представлениями для случая $l \leq L_{эфф}$. Обнаруженный МИП-эффект помимо самостоятельного интереса может явиться основой (аналогично [4]) для разработки нового метода исследования скорости поверхностной рекомбинации как функции ψ_s , а также найдет применение при создании различных магниточувствительных полупроводниковых приборов с поевым электродом.

Московский институт
электронной техники

Поступила в редакцию
22 января 1972 г.

Литература

- [1] В.И.Стафеев. ФТТ, 1, 841, 1959.
- [2] Э.И.Каракушан, В.И.Стафеев. ФТТ, 3, 677, 1961.
- [3] Л.Е.Воробьев, Э.И.Каракушан, В.И.Стафеев. ФТТ, 5, 982, 1963.
- [4] Э.И.Каракушан, В.И.Стафеев. Сб. "Электронные процессы на поверхности и в монокристаллических слоях полупроводников", Новосибирск, 1967, стр. 49.
- [5] Т.Ямада. Труды IX Междунар. Конф. по физике полупроводников, Л., 1969, стр. 711.
- [6] В.И.Ляшенко, В.Г.Литовченко, И.И.Степко, В.И.Стриха, Л.В.Ляшенко. Электронные явления на поверхности полупроводников, Киев, 1968.
- [7] Z.S.Gribnikov, G.I.Lomova, V.A.Romanov. Phys. Stat. Sol., 28, 815, 1968.