Tom XXXIII

1987

Вып. 5

УДК 621.315.6:537.226.86

## ГИСТЕРЕЗИС АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК — ПОЛУПРОВОДНИК

Вын В. А., Яковкин И. Б.

Проводятся результаты экспериментального исследования обнаруженного гистерезиса акустоэлектронного взаимодействия поверхностных акустических волн в слоистой структуре пьезоэлектрическая пленка (ZnO) – полупроводник (Si).

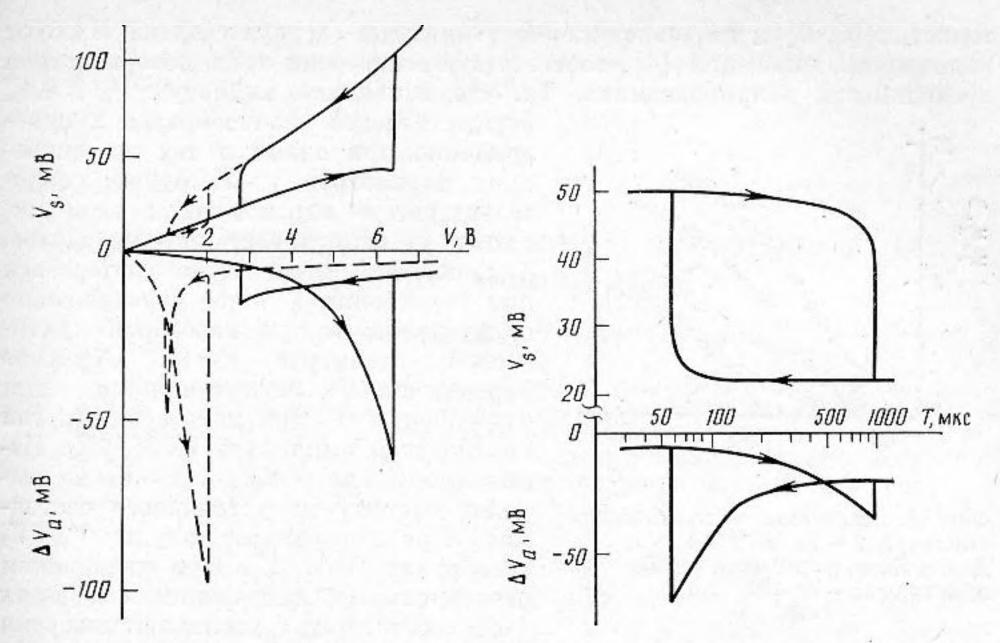
Акустоэлектронные (АЭ) явления в слоистых структурах пьезоэлектрик - полупроводник, связанные с взаимодействием поверхностных акустических волн (ПАВ) с носителями заряда, находят применение в устройствах обработки информации и в АЭ-методах исследования поверхности полупроводников [1-3]. При изменении напряжения смещения наблюдаемый ранее гистерезис свертки ПАВ в структурах пьезоэлектрик полупроводник [4], как и емкости в хорошо известных структурах металл – диэлектрик – полупроводник [5, 6], связывался с отставанием реакции системы на изменяющиеся внешние воздействия. Такое отставание (обусловленное перезарядкой ловушек) при уменьшении скорости изменения внешних воздействий уменьшается, и в пределе гистерезис исчезает. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию гистерезиса и бистабильности АЭ-взаимодействия, обнаруженных в слоистых структурах пьезоэлектрик - полупроводник при предельно медленном изменении внешних воздействий, когда величины, характеризующие АЭ-взаимодействие, не зависели от скорости изменения внешних воздействий.

Экспериментальные исследования проводились при комнатной температуре на монолитных слоистых структурах пьезоэлектрическая пленка — полупроводник. Текстурированные пленки окиси цинка (толщиной 1,8 мкм) осаждались методом катодного распыления [7] на полупроводниковых подложках (п — типа кремния с удельным сопротивлением 300 Ом·см) с подслоем двуокиси кремния (толщиной 0,1 мкм). На свободной поверхности пленок для возбуждения и приема ПАВ изготовлялись встречно-штыревые преобразователи (ВШП) на расстоянии 8 мм друг от друга [8, 9]. Между ними размещается полевой электрод для съема сигналов поперечного акустоэлектрического эффекта (ПАЭ) и свертки ПАВ. Приложенное к полевому электроду постоянное электрическое напряжение смещения за счет поверхностного изгиба зон полупроводника влияет на АЭ-взаимодействие [10, 11].

На излучающий ВШП на частоте 152 МГц с периодом следования T подаются радиоимпульсы длительностью  $\Delta t$  с амплитудой V. Излучаемый поток мощности импульсов ПАВ равен  $AV^2$ , где A=2,5 Вт $\cdot$ В $^{-2}\cdot$ м $^{-1}$ . На приемном ВШП регистрируются радиоимпульсы  $V_s$ , прошедшие через структуру ПАВ, а на полевом электроде — электрические импульсы ПАЭ  $\Delta V_a$ . Амплитуда импульсов  $V_s$ ,  $\Delta V_a$  (по отношению к V) характеризует

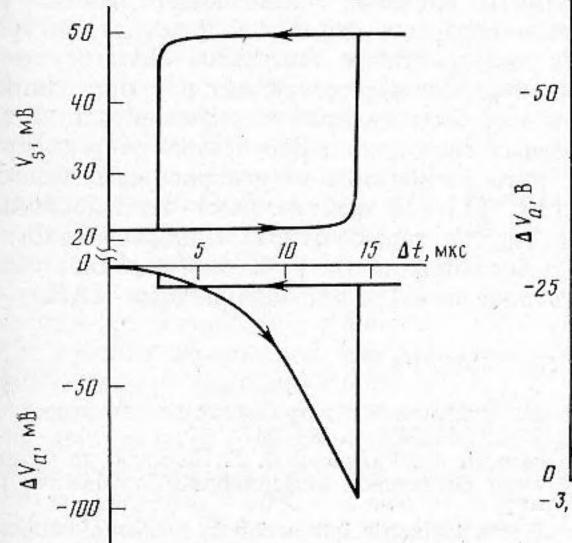
АЭ-взаимодействие.

Для напряжения смещения  $V_g$ =-4.0 В экспериментально полученные зависимости амплитуд  $V_s$  и  $\Delta V_a$  от параметров, характеризующих импульсно-периодический режим, показаны на фиг. 1—3. Как видно, акусто-электронные явления обладают гистерезисным свойством. При изменении напряжения смещения  $V_g$  в случае фиксированных параметров V, T,  $\Delta t$  A3-взаимодействие также обладает гистерезисным свойством. Для  $\Pi A$ 3 зависимости  $\Delta V_a$  от  $V_g$  представлены на фиг. 4. Стрелки на кривых

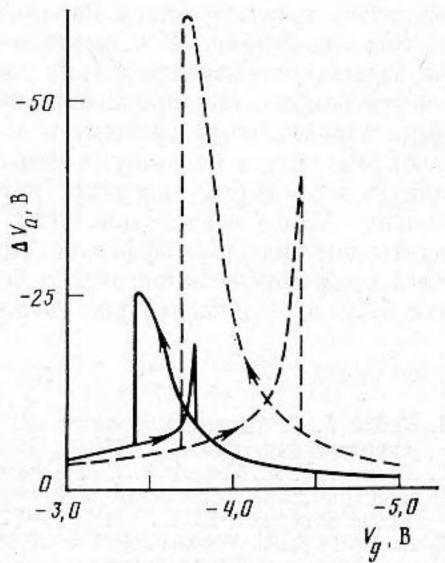


Фиг. 1. Зависимость амплитуд  $V_s$ ,  $\Delta V_a$  от V. Сплошные линии —  $\Delta t$ =3 мкс, пунктирные —  $\Delta t$ =30 мкс, T=100 мкс

Фиг. 2. Зависимость амплитуд  $V_S$ ,  $\Delta V_a$  от T. Амплитуда  $V{=}3,0$  В,  $\Delta t{=}10$  мкс



Фиг. 3. Зависимость амплитуд  $V_s$ ,  $\Delta V_a$  от  $\Delta t$ . Амплитуда  $V{=}3,0$  В,  $T{=}100$  мкс

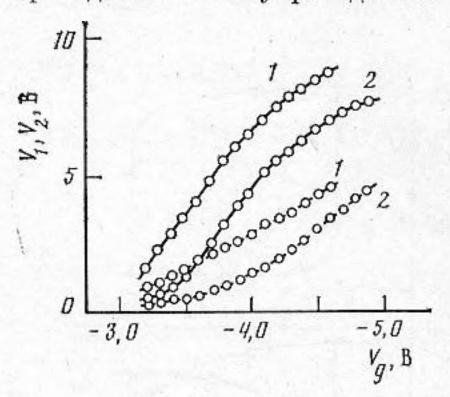


Фиг. 4. Зависимость амплитуды  $\Delta V_a$  от  $V_g$ . Для сплошных линий V= =1,0 В, для пунктирных – V=2,5 В, T=100 мкс,  $\Delta t=$ 10 мкс

 $(\Phi$ иг. 1—4) показывают направление изменения соответствующих величин  $V,\ T,\ \Delta t,\ V_g$ . Следует особо отметить, что изменение последних осуществляется так медленно, что стационарное состояние всегда успевает установиться.

Каковы характерные свойства гистерезиса АЭ взаимодействия? Гистерезис АЭ-взаимодействия наблюдается в импульсно-периодическом режиме следования ПАВ в широком диапазоне периодов T от нескольких микросекунд до сотен миллисекунд и исчезает при переходе к непрерывному режиму ( $\Delta t \rightarrow T$ ). Существует некоторый диапазон значений V, T,  $\Delta t$ ,  $V_g$ , при которых величины  $V_s$  и  $\Delta V_a$  имеют две стабильные амплитуды. Области напряжений смещения, при которых наблюдается бистабильность, как было установлено из высокочастотных вольт-фарадных харак-

теристик [5, 6] и из зависимостей амплитуды сигнала свертки ПАВ от напряжения смещения [4], соответствуют инверсии типа поверхностной проводимости полупроводника. То, что изменение амплитуд  $V_s$  и  $\Delta V_a$ 



Фиг. 5. Зависимость критических амплитуд  $1-V_1$  и  $2-V_2$  от  $V_g$ . Для сплошных линий  $\Delta t{=}3$  мкс, для пунктирных  $-\Delta t{=}10$  мкс,  $T{=}$  =100 мкс

осуществляется скачкообразно и одновременно при одних и тех же значениях параметров V, T,  $\Delta t$ ,  $V_{g}$ , свидетельствует о переключении всей системы из одного состояния в другое. Так, на фиг. 1 на петле гистерезиса при увеличении V такое переключение осуществляется при некоторой критиамплитуде  $V=V_2$ . Обратное ческой переключение осуществляется при уменьшении V при некоторой другой критической амплитуде  $V=V_1 < V_2$ . Изменение V при  $V < V_2$  и  $V > V_4$  не выводит систему из устойчивого состояния. Критические амплитуды  $V_1$ ,  $V_2$ зависят от T,  $\Delta t$ ,  $V_g$ . При увеличении отрицательного напряжения смещения (что соответствует усилению инверсии

типа поверхностной проводимости полупроводника) и уменьшении  $\Delta t$  значения критических амплитуд возрастают (показано на фиг. 5).

Переключение системы из одного состояния в другое должно сопровождаться переключением параметра системы, оказывающего влияние на АЭ-взаимодействие. Так, хорошо известно, что в слоистых структурах пьезоэлектрик — полупроводник под действием импульсов ПАВ осуществляется накопление заряда на поверхностных состояниях полупроводника. Тогда переключение системы может быть связано со скачкообразным изменением заряда на поверхностных состояниях. Это в свою очередь приводит к изменению поверхностного изгиба зон, от которого существенно зависит АЭ-взаимодействие [10, 11]. Поэтому, кроме исследованных акустоэлектрических эффектов, другие также будут обладать аналогичными свойствами гистерезиса и бистабильности. В частности, такое свойство было экспериментально установлено для эффекта свертки ПАВ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Кайно Г. С.* Акустоэлектронное взаимодействие в устройствах на поверхностных акустических волнах // ТИИЭР. 1976. Т. 64. № 5. С. 188—217.

2. Коршак В. А., Лямов В. Е., Солодов И. Ю., Еленский В. Г. Нелинейные акустоэлектрические устройства обработки сигнальной информации // Зарубежная радиоэлектроника. 1981. № 1. С. 58-77.

Jakovkin I. B., Vyun V. A. Use of acoustoelectric interaction in studies of semiconductor surface // Proc. Internat. Symp. Surface Waves in Solids and Layered Structures. Novosibirsk, USSR, 1986. V. 1. P. 183-200.

 Coldren L. A. Effect of bias field in zinc-oxide-on-silicon acoustic convolver // Appl. Phys. Lett. 1974. V. 25. № 9. P. 473-475.

5. Овсюк В. Н. Электронные процессы в полупроводниках с областями пространственного заряда. Новосибирск: Наука, 1984. 254 с.

6. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1973. 656 с.

7. Александров Л. Н., Ивахнишин В. М., Креймер А. А., Яковкин И. Б. Структура и морфология пленок окиси цинка, полученных методом катодного распыления // Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы. 1984. Т. 20. № 3. С. 435—439.

8. Вьюн В. А., Креймер А. А., Яковкин И. Б. МДП-конволютор // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. № 21. С. 1292—1295.

9. Вьюн В. А., Пнев В. В., Яковкин И. Б. Поперечный акустоэлектрический эффект в структурах пьезоэлектрическая пленка — полупроводник // ФТТ. 1986. Т. 28. № 5. С. 1538—1540.

10. Вьюн В. А., Левин М. Д. Нелинейные акустоэлектрические эффекты в структуре пьезоэлектрик — полупроводник // ФТТ. 1980. Т. 22. № 1. С. 70—74.

11. Вьюн В. А., Левин М. Д. Влияние изгиба зон полупроводника на акустоэлектронное взаимодействие в слоистой структуре пьезоэлектрик — полупроводник // ФТТ. 1981. Т. 23. № 3. С. 838-845.

Институт физики полупроводников СО Академии наук СССР Поступила в редакцию 10.XI.1986