

ОРИЕНТАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОАКУСТИЧЕСКОГО
ЭФФЕКТА В КРИСТАЛЛАХ ГЕРМАНИЯ И СУЛЬФИДА
КАДМИЯ

А. А. ДУРГАРЯН, Р. С. ГАРДИЛЯН, Р. П. ВАРДАПЕТЯН, Ас. А. ДУРГАРЯН

Исследован фотоакустический эффект в Ge ($110 \div 150$ кГц) и CdS ($0,7 \div 3$ МГц) при комнатной температуре. В кристаллах Ge обнаружена сильная анизотропия эффекта. В CdS обнаружена определенная корреляция между величиной эффекта и акустоэлектрической эдс.

Несмотря на то, что в последние годы поглощение и усиление ультразвука, а также акустоэлектрический эффект были детально изучены во многих кристаллах, явление уменьшения поглощения ультразвука при освещении полупроводников в отсутствие дрейфового электрического поля (фотоакустический эффект) исследовано явно недостаточно [1—3]. Фотоакустический эффект (ФАЭ) — это один из видов акустических явлений, наблюдаемых как в элементарных полупроводниковых кристаллах Si и Ge с электронной проводимостью, так и в пьезополупроводниках (например, в CdS) на звуковых и ультразвуковых частотах (от 1 кГц и выше) при малых мощностях освещения и звука и в отсутствие дрейфового электрического поля.

В настоящей работе исследована ориентационная зависимость ФАЭ в кристаллах $n-Ge$ на частотах $110 \div 150$ кГц и в CdS на частотах $0,7 \div 3$ МГц. В первом диапазоне частот исследования проводились методом затухания свободных продольных колебаний составного стержня, а во втором — методом бегущих волн (в непрерывном режиме). Плотность дислокаций в обоих кристаллах составляла $6 \cdot 10^3$ см⁻². Образцы освещались лампой накаливания мощностью 30 Вт. Акустоэлектрическая эдс в кристаллах CdS снималась с серебряных электродов, нанесенных на противоположные грани образцов.

Исследования показали наличие в кристаллах германия сильной анизотропии ФАЭ. Так, для образца ориентации $[121]$ эффект составляет 15%, для ориентации $[\bar{1}\bar{1}2]$ — только 9%, а у образца ориентации $[\bar{1}\bar{1}0]$ ФАЭ вообще отсутствует (все образцы были вырезаны из одного слитка). Таким образом, при повороте осей образцов (совпадающих с направлением распространения ультразвука) в плоскости (111) от оси $[\bar{1}\bar{1}2]$ к оси $[\bar{1}\bar{1}0]$ ФАЭ проходит через максимум (рис. 1).

Из кривой зависимости поглощения ультразвука в $n-Ge$ от продолжительности освещения (рис. 2) видно, что при включении света поглощение сначала резко уменьшается, а затем постепенно стремится к своему минимальному (для данной освещенности) значению. Точно так же после выключения света поглощение резко растет, а затем стремится к своему

прежнему, темневому значению. Эти вторые участки на кривых временной зависимости ФАЭ уменьшаются с понижением температуры и почти исчезают при $T = 80^\circ\text{K}$.

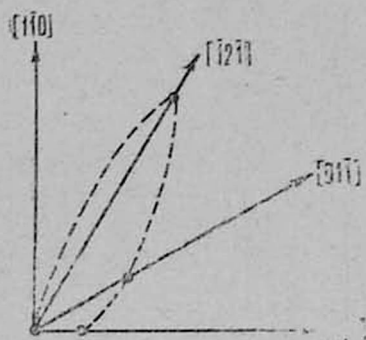


Рис. 1.

Рис. 1. Ориентационная зависимость фотоакустического эффекта в кристаллах Ge.

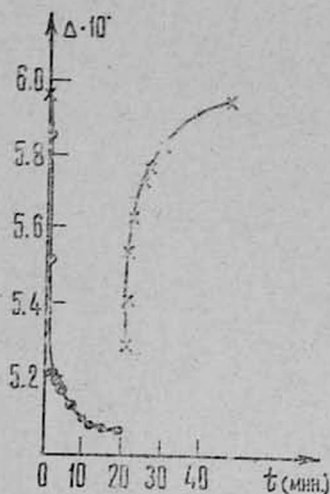


Рис. 2.

Рис. 2. Временная зависимость фотоакустического эффекта в кристаллах Ge с ориентацией $[112]$: $\odot$ — при освещении, $\times$ — после выключения света.

Значительный ФАЭ наблюдается и в кристаллах CdS с удельным сопротивлением $\rho \sim 10^4$ ом см, причем в диапазоне $0,7 \div 1,3$ мГц при изменении частоты ультразвука ФАЭ несколько раз меняет свой знак, т. е. под действием света поглощение при одних частотах растет, а при других — уменьшается. Например, при распространении ультразвука частоты 800 кГц вдоль оси C_6 кристалла наблюдается отрицательный ФАЭ (рост поглощения) порядка 7,6%, тогда как на частоте 831 кГц ФАЭ положительный и достигает 16,3%. Положительный ФАЭ наблюдается также на частоте 945 кГц, а на частоте 990 кГц эффект отрицательный. Однако закономерность в чередовании положительного и отрицательного ФАЭ обнаружить не удалось. Отжиг при 500°C в течение 6 часов не приводит к существенному изменению величины или знака ФАЭ.

В кристаллах CdS ФАЭ сопровождается акустоэлектрическим эффектом. В отсутствие освещения акустоэдс направлена против распространения ультразвука, но при включении света меняет свое направление на противоположное. Исследования показали, что в то время, как ФАЭ не зависит от амплитуды ультразвука (при малых мощностях), акустоэдс существенно зависит от амплитуды. Так, при увеличении амплитуды ультразвука в 6 раз (положительный ФАЭ на частоте 865 кГц) в неосвещенном кристалле акустоэдс увеличивается в 14 раз, а в освещенном — в 22 раза. В случае же отрицательного ФАЭ на частоте 100,6 кГц — увеличивается соответственно в 38 и 15 раз (рис. 3). Таким образом, величина акустоэдс

чувствительна к знаку ФАЭ, но его направление не зависит от знака ФАЭ. Аналогичные результаты получаются и при распространении ультразвука перпендикулярно к оси C_4 кристалла CdS .

ФАЭ на частотах $4 \div 100$ кГц в кристаллах Si и Ge был впервые обнаружен в работах [1—3]. Найн [4] на частотах $10 \div 200$ мГц наблюдал в освещенных кристаллах CdS как увеличение, так и уменьшение поглощения пьезоактивных волн. В нашей же работе изменение поглощения при освещении наблюдалось как для пьезоактивных, так и для неактивных волн.

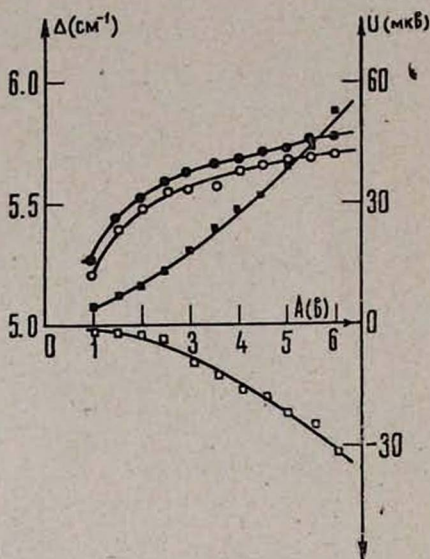


Рис. 3а.

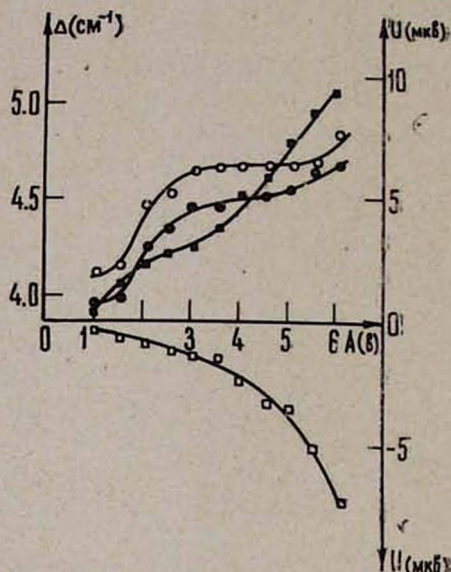


Рис. 3б.

Рис. 3. а) Амплитудная зависимость (A — напряжение на преобразователе в единицах Вольт) фотоакустического эффекта и акустоэлектрической эдс на частоте 865 кГц в кристаллах CdS : поглощение ультразвука в темноте (●) и при освещении (○); фотоакустическая эдс в темноте (■) и при освещении (□).

Рис. 3. б) Амплитудная зависимость отрицательного фотоакустического эффекта и акустоэлектрической эдс на частоте 1008,6 кГц в кристаллах CdS : (●, ○) — поглощение ультразвука соответственно в темноте и при освещении; (■, □) — фотоакустическая эдс соответственно в темноте и при освещении.

Из полученных нами экспериментальных результатов следует, что в кристаллах CdS освещение приводит к изменению знака акустоэдс. Таким образом, световое поле включает некий механизм, приводящий к усилению ультразвука в отсутствие дрейфового электрического поля.

На кривой временной зависимости ФАЭ при комнатной температуре в кристалле CdS второй участок (медленный спад, восстановление поглощения) не наблюдается. Уменьшение времени установления ФАЭ при охлаждении кристаллов Si и Ge до 80°K и отсутствие временной зависимости установления ФАЭ в кристаллах CdS указывает на то, что временная зависимость поглощения связана, по всей видимости, с глубиной проникно-

вения света в кристалл [3]. При понижении температуры глубина проникновения света в кристаллы *Si* и *Ge* растет, что приводит к увеличению числа «горячих» электронов, а следовательно, растет вероятность индуцированного испускания фононов [5]. При понижении температуры уменьшается также рассеяние на акустических фононах, что, в свою очередь, приводит к увеличению ФАЭ [1, 3]. Из этого следует, что время установления (насыщения) эффекта действительно должно уменьшаться с понижением температуры.

Таким образом, полученные результаты подтверждают высказанное ранее предположение [3], что ФАЭ обязан стимулированному излучению когерентных фононов «горячими» электронами при их взаимодействии с ультразвуковым полем в кристалле.

Ереванский государственный
университет

Поступила 24.I.1979

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дургарян, М. С. Саканян, Р. С. Гардильян. Изв. АН АрмССР, Физика, 9, 441 (1974).
2. А. А. Дургарян, М. Факем. ФТТ, 18, 600 (1976).
3. А. А. Дургарян, М. Факем. ФТТ, 19, 90 (1977).
4. H. D. Naine. Phys. Rev. Lett., 4, 359 (1950).
5. Э. М. Эпштейн. Изв. вузов, Радиопизика, 18, 785 (1975).

ՖՈՏՈԱԿՈՒՍՏԻԿ ԷՖԵԿՏԻ ՕՐԻԵՆՏԱՑԻՈՆ ԿԱՆՈՒՄԸ *Ge* եւ *CdS* ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ

Ա. Ա. ԴՈՒՐԳԱՐՅԱՆ, Ռ. Ս. ԳԱՐԴԻԼՅԱՆ, Ռ. Պ. ՎԱՐԴԱՊԵՏՅԱՆ,
Հ. Ա. ԴՈՒՐԳԱՐՅԱՆ

Ուսումնասիրվել է ֆոտոակուստիկ էֆեկտը *Ge* ($110 \div 150$ կՀց) և *CdS* ($0,7 \div 3$ ՄՀց) բյուրեղներում սենյակի ջերմաստիճանում: *Ge* բյուրեղում հալոնաբերված է այդ էֆեկտի արտաձայնված անիզոտրոպիա, իսկ *CdS*-ում գիտվել է որոշակի կորելյացիա ֆոտոակուստիկ էֆեկտի մեծության և ակուստիկ արագության էլշու-ի միջև:

THE ORIENTATIONAL DEPENDENCE OF PHOTOACOUSTIC EFFECT IN *Ge* AND *CdS* CRYSTALS

A. A. DURGARYAN, R. S. GARDILYAN, R. P. VARDAPETYAN,
As. A. DURGARYAN

The effect of light on the ultrasound absorption in *Ge* ($110 \div 150$ kHz) and *CdS* ($0,7 \div 3$ MHz) single crystals was studied. In *Ge* crystals a strong anisotropy of the effect was observed, while in *CdS* a certain correlation existed between the photoacoustic effect and acousto-electric current.