

05.2;06;07;12

Влияние одноосного сжатия на фотопроводимость сильнокомпенсированного Si⟨B, Mn⟩

© М.К. Бахадырханов, Х.М. Илиев, Х.Ф. Зикриллаев

Ташкентский государственный технический университет

Поступило в Редакцию 6 мая 1998 г.

Наблюдалась довольно сильная зависимость границы фоточувствительности и рост фотоответа при одноосной упругой деформации в компенсированных кристаллах Si⟨B, Mn⟩.

Характерной особенностью спектров фотопроводимости (ФП) сильнокомпенсированного Si⟨B, Mn⟩ (т.е. $|1 - k| \ll 1$, где k — степень компенсации материала) является то, что вблизи области собственного поглощения света фототок увеличивается с очень большой крутизной. Как указывалось автором работы [1], причиной наблюдаемой аномально большой фоточувствительности сильнокомпенсированного Si⟨B, Mn⟩ является образование атомами марганца различных многозарядных кластеров, играющих роль очувствляющих центров. Заряд этих центров практически не экранируется из-за отсутствия равновесных носителей тока в сильнокомпенсированном Si⟨B, Mn⟩, время жизни неравновесных носителей тока в таком кристалле становится несимметричным. Можно предполагать, что изменения состояния этих заряженных кластеров, происходящих при любых внешних механических воздействиях, изменяющих симметрию кристаллической решетки, должны проявляться на спектрах ФП.

В связи с этим представляет интерес исследование влияния одноосно упругого сжатия (ОУС) на спектральные зависимости ФП вблизи области собственного поглощения света в сильнокомпенсированных образцах Si⟨B, Mn⟩.

Такие исследования позволяют не только более точно определить изменения ширины запрещенной зоны кремния при ОУС, но и оценить возможности использования фотопроводимости с СК Si⟨B, Mn⟩ при воздействии ОУС для регистрации инфракрасного излучения и деформации.

Для исследования нами была получена партия образцов $\text{Si}\langle\text{B}, \text{Mn}\rangle$ с различными степенями компенсации и с кристаллографическими направлениями [111], [110], [100] вдоль большого ребра. В качестве исходного материала был использован промышленный кремний марки КДБ-10, в который марганец вводился диффузионным путем из газовой фазы в интервале температур 1000–1150°С. Исследование спектров ФП образцов $\text{Si}\langle\text{B}, \text{Mn}\rangle$ при ОУС проводилось с помощью инфракрасного спектрометра ИКС-21 и специального криостата, позволяющего получать механическое напряжение до $2 \cdot 10^4 \text{ kg/cm}^2$ в образцах с размерами $4 \times 1 \times 1 \text{ mm}$, в интервале температур 80–300 К.

Спектральная зависимость фототока вблизи области собственной ФП в образцах СК $\text{Si}\langle\text{B}, \text{Mn}\rangle$ с $\rho = 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ при отсутствии и наличии ОУС величиной $X = 8 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ и с условием сжатия $\{I_{ph}/X/[100]\}$ приведена на рис. 1. Как видно из рисунка, действительно в области собственного поглощения в таких образцах фототок увеличивается очень сильно (1). При идентичных условиях снимались спектры зависимости ФП этих же образцов при наличии ОУС (2). Спектр ФП при сжатии смещается в сторону длинных волн, а крутизна роста фототока несколько увеличивается по сравнению с крутизной спектра ФП данного образца при отсутствии сжатия. Наличие ОУС приводит к изменению значения фототока почти на три порядка (точки a, b), а при снятии сжатия величина фототока вернется обратно к своему прежнему значению до сжатия. Аналогичные результаты получены во всех сильнокомпенсированных $\text{Si}\langle\text{B}, \text{Mn}\rangle$ в пределах упругого сжатия. Как показывают предварительные расчеты чувствительности фототока вблизи области собственного поглощения света к ОУС, она значительно превышает тензочувствительность кремния, обусловленного изменением его удельного сопротивления. Это показывает, что на основе образцов $\text{Si}\langle\text{B}, \text{Mn}\rangle$ можно изготовить датчик деформации, чувствительность которого на несколько порядков превышает чувствительность промышленных кремниевых тензодатчиков.

На рис. 2 приводятся спектральные зависимости относительных изменений фототока этих же образцов при условии $\{I_{ph}/X/[100]\}$ и значениях сжатия $X = 2 \cdot 10^8; 4 \cdot 10^8; 6 \cdot 10^8; 8 \cdot 10^8 \text{ Pa}$. Как видно из рис. 2, a , максимум фототока образцов, соответствующий энергиям фотонов в области собственной ФП, с ростом сжатия смещается в сторону длинных волн. Следует отметить, что с ростом значений ОУС область максимальных значений фототока принимает более пологий

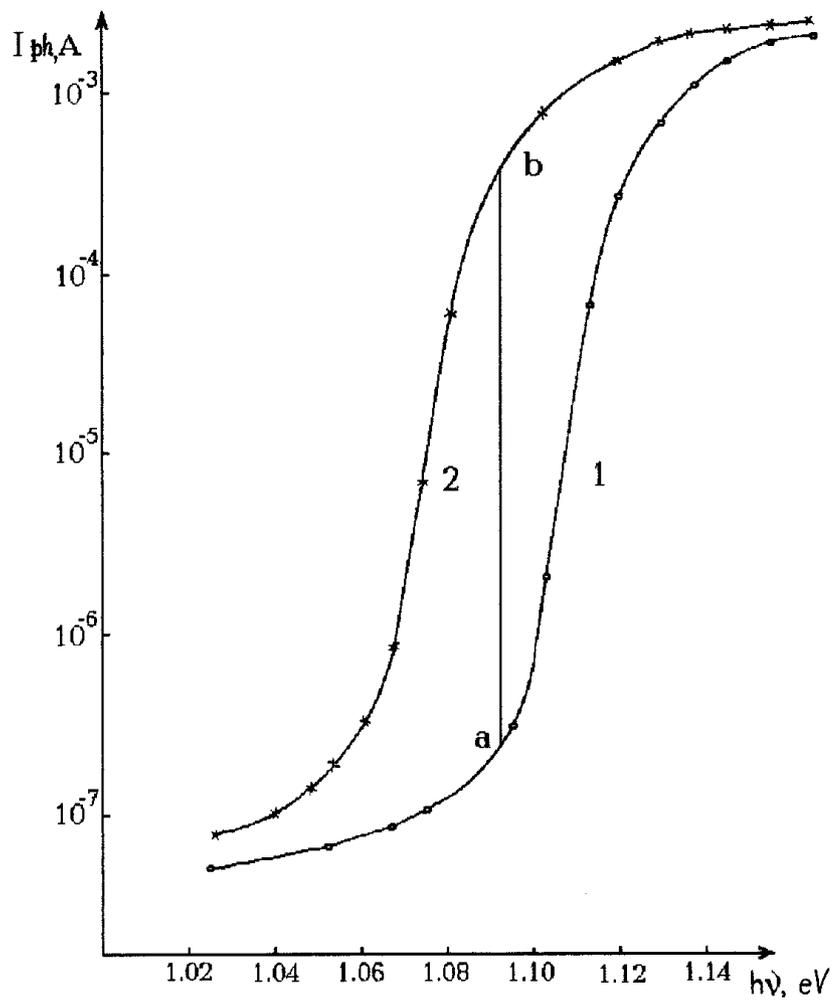


Рис. 1. Спектральная зависимость фотопроводимости в сильнокомпенсированном Si(B, Mn) при условиях одноосного сжатия $\{I_{ph}/X//[100]\}$ и $T = 77$ K: 1 — при $X = 10^5$ Pa; 2 — при $X = 8 \cdot 10^8$ Pa.

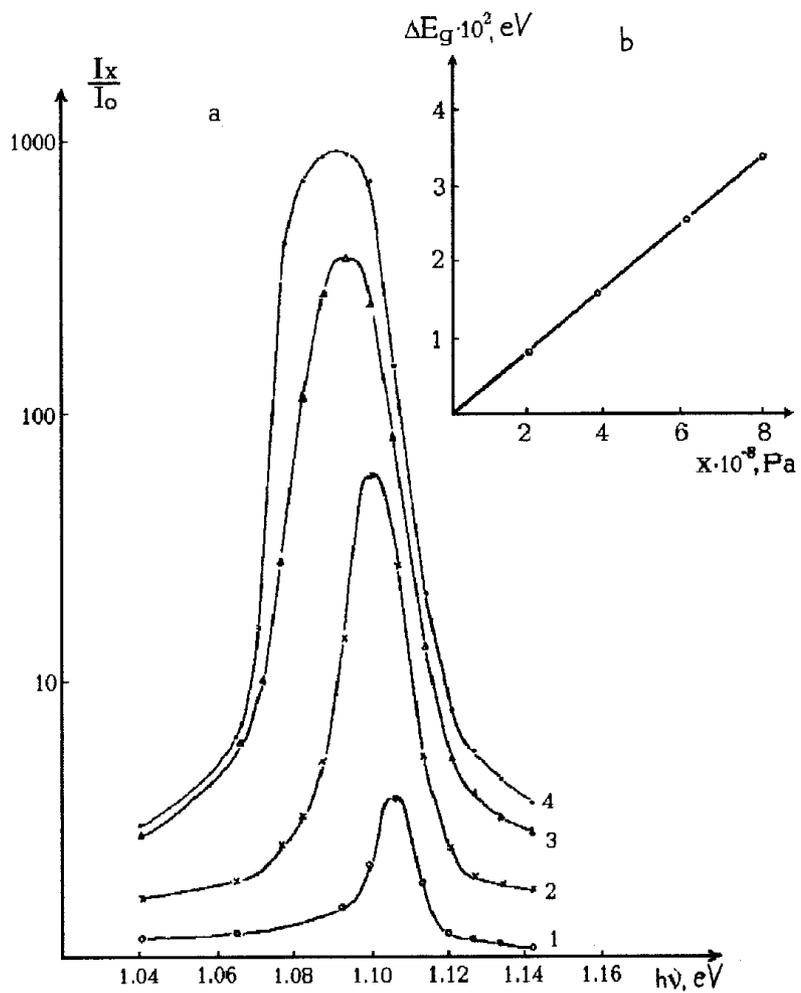


Рис. 2. Спектральные зависимости относительных изменений фототока (а) и изменения ширины запрещенной зоны Si при одноосно упругом сжатии (b): 1 — при $X = 2 \cdot 10^8$ Pa; 2 — при $X = 4 \cdot 10^8$ Pa; 3 — при $X = 6 \cdot 10^8$ Pa; 4 — при $X = 8 \cdot 10^8$ Pa.

характер, что приводит к расширению частотной области фоточувствительности. Таким образом, с помощью механического сжатия можно не только расширить и сместить область собственного поглощения образцов, но и расширить их частотную область чувствительности. Аналогичные исследования образцов СК Si(B, Mn) при условии сжатия $\{I_{ph} // X // [110]\}$ и $\{I_{ph} // X // [111]\}$ показали качественное совпадение с характером смещения спектров ФП при сжатии в направлении кристаллографической оси [100], но количественно они выражены слабее.

Качественные совпадения экспериментальных результатов исследования спектров ФП при условиях сжатия $\{I_{ph} // X // [100]\}$, $\{I_{ph} // X // [110]\}$ и $\{I_{ph} // X // [111]\}$ свидетельствуют о том, что наблюдаемые эффекты смещения спектров ФП связаны с уменьшением ширины запрещенной зоны. На это указывает и приведенная на рис. 2, *b* зависимость смещения красной границы фотоответа в сторону малых энергий в образце от величины сжатия при условии $\{I_{ph} // X // [100]\}$. Из этого рисунка можно сделать вывод, что ширина запрещенной зоны Si при ОУС уменьшается по закону $Eg(x) = Eg(0) - \alpha \cdot X$.

Из полученных экспериментальных результатов определены барические коэффициенты изменения ширины запрещенной зоны кремния при условиях сжатия $\{I_{ph} // X // [100]\}$, $\{I_{ph} // X // [110]\}$ и $\{I_{ph} // X // [111]\}$, которые соответственно равны:

$$\alpha_{[100]} = 4.25 \cdot 10^{-11} \text{ eV/Pa},$$

$$\alpha_{[110]} = 2.75 \cdot 10^{-11} \text{ eV/Pa},$$

$$\alpha_{[111]} = 2.25 \cdot 10^{-11} \text{ eV/Pa},$$

что по порядку величины совпадает с данными, полученными в работах [2,3].

Известно [2,3], что при сжатии кристаллов кремния в направлении кристаллографической оси [100] уменьшение ширины запрещенной зоны максимально, поэтому и эффект смещения спектров ФП в этом направлении выражен сильнее по сравнению с направлением сжатия вдоль кристаллографических осей [110] и [111]. Увеличение крутизны спектра фототока, видимо, связано с изменением степени заполнения глубокого уровня марганца при упругом сжатии [4], приводящем к изменению степени компенсации образцов, сечения захвата электронов и дырок на ионизированных центрах марганца.

Список литературы

- [1] *Бахадырханов М.К.* Автореф. докт. дис. Л., 1982.
- [2] *Баранский П.И., Клочков В.П., Потыкевич И.В.* Полупроводниковая электроника. Киев: Наук. думка, 1973. 703 с.
- [3] *Полякова А.Л.* Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1981. 168 с.
- [4] *Илиев Х.М.* Автореф. канд. дис. Ташкент, 1991.