

06.2;12

Тензорезистивный эффект в кремнии с примесью олова при статическом и динамическом давлении

© О.О. Маматкаримов, Р.Х. Хамидов

Национальный университет Узбекистана им. М. Улугбека

Поступило в Редакцию 14 августа 2002 г.

Исследован тензорезистивный эффект в кремнии с примесью олова при статическом и динамическом воздействиях давления. Показано, что изменение тока относительно первоначального значения в исходном кремнии (КЭФ 15) при воздействии давления составляет 5–8%, а в образцах $n\text{-Si}(\text{Sn})$ эти изменения составляют: при статическом давлении 25–30%, при импульсном давлении 55 ÷ 60%. Полученные результаты объяснены изменением внутренних упругих механических напряжений, создаваемых примесными атомами олова.

Для получения твердотельных тензочувствительных приборов с заданными электрофизическими параметрами необходим тензочувствительный материал с малым удельным сопротивлением, но с большим коэффициентом тензочувствительности. Для достижения этой цели целесообразно вводить в Si примесь, которая, уменьшая или не изменяя его удельного сопротивления, увеличивает тензочувствительность.

Известно [1], что атомы изовалентных примесей (ИВП), располагаясь в узлах кристаллической решетки кремния, не влияют на концентрацию носителей заряда. Однако наличие таких атомов в кремнии изменяет его физико-химические свойства.

В работе [2] показано, что кремний, легированный примесями, создающими глубокие уровни, более чувствителен к внешним воздействиям. Тензоэффект в таких образцах обусловлен смещением энергетического положения глубоких уровней относительно разрешенных зон энергии.

Но изовалентные примеси в кремнии не влияют на электрофизические свойства кремния, поэтому тензоэффект в образцах $\text{Si}(\text{Sn})$ не может быть объяснен таким смещением.

В связи с этим в настоящей работе исследовался тензорезистивный эффект в кремнии с примесью олова при различных режимах давления.

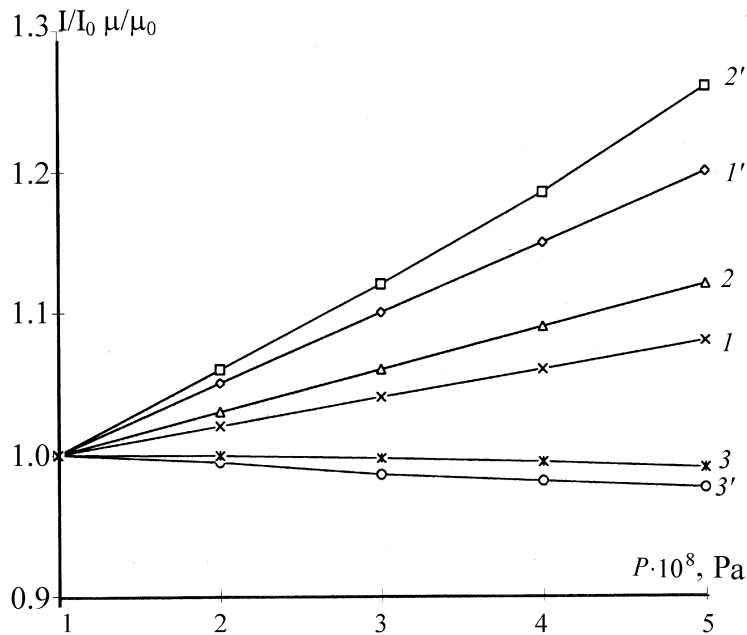


Рис. 1. Относительное изменение тока (I , 2 , I' , $2'$) и подвижностей (3 , $3'$) образцов исх. Si (I , 2 , 3) и Si(Sn) (I' , $2'$, $3'$) с давлением. I , I' — при $T = 313$ К; 2 , $2'$ — при $T = 263$ К.

Исследуемые образцы n -Si(Sn) были получены путем введения олова в процессе выращивания монокристаллического кремния. Образцы имели удельное сопротивление $15 \Omega \cdot \text{см}$. Эксперименты проводились на установке, описанной в [3].

На рис. 1 приведены экспериментальные данные изменения тока (I , 2 , I' , $2'$) относительно первоначального значения и подвижности носителей заряда (3 , $3'$) в образцах исходного кремния (кривые I , 2 , 3) и Si(Sn) (кривые I' , $2'$, $3'$) в зависимости от величины гидростатического давления при различных температурах.

Из приведенных данных видно, что подвижность носителей как в образцах исходного кремния, так и в образцах n -Si(Sn) почти не изменяется с увеличением гидростатического давления независимо

от температуры. Однако значения относительных изменений токов в образцах с примесью олова возрастают с давлением до значений $I_p/I_0 = 25 - 30\%$ и зависят от температуры. Чем больше температура, тем меньше значения относительного изменения тока при давлении.

В работе [4] показано, что в образцах кремния, компенсированного примесями, создающими глубокие уровни, тензочувствительность уменьшается с увеличением температуры. По мнению авторов, изменение тензочувствительности с температурой связано с изменением степени заполнения глубоких уровней. Однако в случае кремния, легированного оловом, изменение тензочувствительности не связано с заполнением глубоких уровней, так как олово, являясь изовалентной примесью в кремний, не создает глубоких энергетических уровней. Изменение тензочувствительности в этом случае, скорее всего, связано с изменением внутренних упругих напряжений. В пользу этого говорит температурная зависимость изменения токов, приведенная на рис. 1. С увеличением температуры увеличиваются расстояния между атомами кремния и примесными атомами олова, вследствие чего частично снимаются внутренние упругие напряжения.

Для изучения динамических тензосвойств кремния с примесью олова нами исследованы образцы $n\text{-Si}(\text{Sn})$, подвергнутые импульсному воздействию давления со скоростью нарастания давления $2 \cdot 10^8 \text{ Pa/s}$. Как показывают экспериментальные результаты, относительное изменение тока для образцов $n\text{-Si}(\text{Sn})$ при импульсном давлении составляет $80 \div 85\%$. При этом часть изменений тока, соответствующая импульсному давлению, составляет 20% . Эти изменения не могут быть объяснены только изменением температуры образца, увеличивающейся при импульсном давлении. Для выяснения механизмов наблюдаемого динамического тензоэффекта в образцах $n\text{-Si}(\text{Sn})$ были проведены следующие эксперименты. К образцам приклеивали медьконстантановую термопару, чтобы контролировать температуру образца. На держателе закреплялась нихромовая спираль для изменения температуры образцов при постоянном давлении. Эксперименты показали, что при импульсном изменении давления в интервале $P = 0 \div 5 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ со скоростью $2 \cdot 10^8 \text{ Pa/s}$ температура образца увеличивается на $\Delta t = 8^\circ\text{C}$, а ток, протекающий через образец, возрастает на 20% относительно статического значения (первый пик на рис. 2). С течением времени температура уменьшается до начального значения и остается неизменной при постоянном давлении $P = 5 \cdot 10^8 \text{ Pa}$. При этом ток уменьшается до I_s

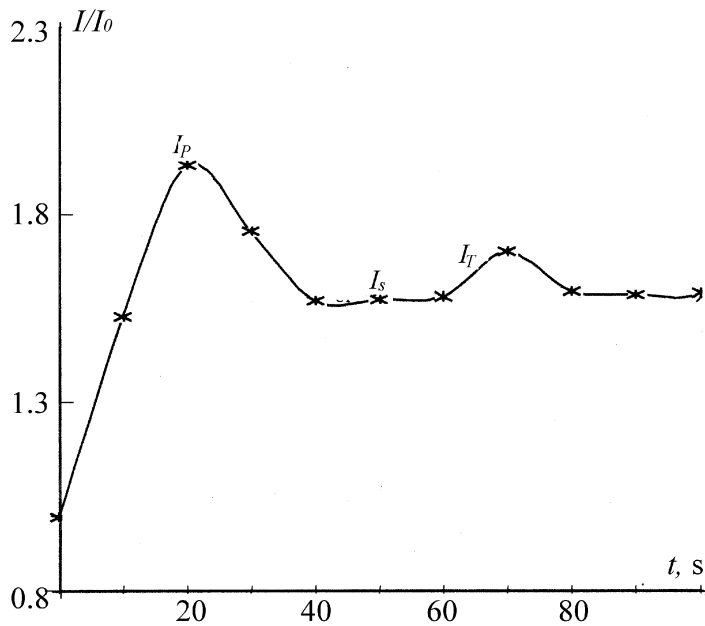


Рис. 2. Кинетика изменения тока, протекающего через образец Si(Sn) при $P = 5 \cdot 10^8$ Па и $dP/dt = 2 \cdot 10^8$ Па/с. I_P — изменения тока с давлением, I_T — изменения тока с температурой.

и далее остается неизменным. При увеличении температуры образца нихромовой спиралью на $\Delta t = 8^\circ\text{C}$ ток образца изменяется всего лишь на 5% (второй пик рис. 2). Видно, что изменения тока, протекающего через образец, связанные с изменением температуры, незначительны.

Наличие изовалентных атомов в кристаллах приводит к появлению внутренних упругих напряжений [1]. Значит, динамический тензорезистивный эффект в образцах n -Si(Sn) может быть обусловлен ростом упругих напряжений при воздействии импульса давления обрывом напряженных вакантных связей и высвобождением дополнительных носителей заряда. В пользу этого говорит увеличение части тока, связанной с давлением, при увеличении скорости (или величины) прикладываемого импульса давления.

Список литературы

- [1] *Талипов Ф., Хамидов Р.Х.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 2. С. 55–57.
- [2] *Зайнабидинов С.З., Маматкаримов О.О., Турсунов И.Г., Туйчиев У.* // ФТП. 2000. Т. 34. В. 6. С. 641–644.
- [3] *Абдураимов А., Зайнабидинов С.З., Маматкаримов О.О., Химаткулов О., Худайбергенов Т.Э.* // ПТЭ. 1992. № 5. С. 229–231.
- [4] *Абдураимов А., Зайнабидинов С.З., Маматкаримов О.О.* // Узбекский физический журнал. 1993. В. 3. С. 47–49.