

УДК 621.315.592

Технология изготовления ИК-приемников из кремния, легированного таллием

Н. А. Султанов

Ферганский политехнический институт, г. Фергана, Узбекистан

Цель данной работы — изготовление ИК-приемников и измерение их параметров в монокристаллах, выращенных по методу Чохральского.

Технология легирования кремния таллием в процессе выращивания монокристаллов связана с определенными трудностями, так как таллий не растворяется в кремнии ни в твердом, ни в жидком состоянии [1], имеет большую упругость пара при температуре плавления кремния, активно взаимодействует с кислородом и кварцем, и во время диффузии происходит заметная эрозия поверхности кристаллов.

Таллий обладает очень низким коэффициентом диффузии [2], в связи с чем в последние годы основные исследования Si(Tl) были выполнены на имплантированных слоях [3, 4]. При имплантации в условиях отсутствия аморфизации около трети внедренных атомов таллия располагается в узлах, остальные — в тетраэдрических междоузлиях. Таллий в положении замещения создает акцепторный уровень $E_v + 0,3$ эВ, а междоузельный таллий — донорный уровень E_c — $-0,28$ эВ.

Цель данной работы — изготовление ИК-приемников и измерение их параметров в монокристаллах, выращенных по методу Чохральского.

Слитки p -Si(Tl) при комнатной температуре имели удельное сопротивление порядка $2—80$ Ом·см, при подвижности дырок $400—500$ см²/В·с. Для измерения спектров фотопроводимости (ФП) и ИК-поглощения использовались образцы размером $10 \times 5 \times 0,8$ мм с высоким сопротивлением при 77 К. Контакты изготавливались путем сплавления алюминия или напайвания сплава 97 % In + 3 % Ga.

Основные измерения ФП производили при модулированном с частотой 30 Гц освещении и температуре 77 К. Типичный спектр ФП имеет длинноволновую границу фотоответа при $h\nu \geq 0,2$ эВ (рис. 1). В области $0,25—0,3$ эВ спектральная зависимость фототока I_f имеет немонотонный характер, связанный с термооптическими переходами через возбужденные состояния атомов таллия. В целом спектры ФП объемных кристаллов p -Si(Tl) подобны спектрам фоточувствительности образцов, полученных ионной имплантацией таллия с последующей диффузионной разгонкой [3]. Измерения температурной зависимости фотоответа показали, что фоторезисторы из p -Si(Tl) имеют заметную чувствительность при $T \leq 90$ К в широком диапазоне длин волн $h\nu \approx 0,2—0,8$ эВ [3, 5].

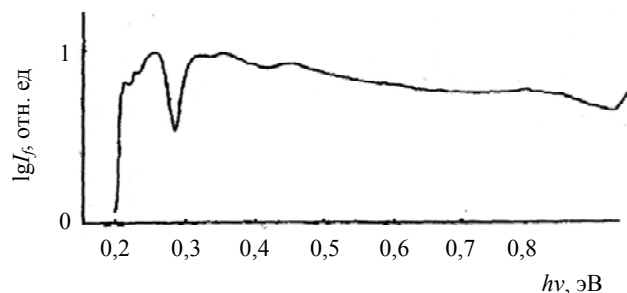


Рис. 1. Спектр фотопроводимости p -Si(Tl) при 77 К

Для емкостных измерений на кристаллах Si(Tl) создавали барьеры Шоттки путем напыления сурьмы в высоком вакууме. Пробивные напряжения барьера Шоттки — порядка $20—70$ В. Измерения вольт-фарадных характеристик при 300 К показали, что $1/c^2$ линейно зависит от обратного смещения, т. е. примесь распределена в кристалле равномерно (в пределах ширины слоя объемного заряда). Концентрация ионизированных центров составляла порядка $(1—8) \cdot 10^{15}$ см⁻³ и хорошо согласовывалась с данными измерений эффекта Холла. Диоды этой группы использовались для определения концентрации и параметров глубоких уровней (ГУ) с помощью нестационарной емкостной спектроскопии (DLTS). Для измерений последней были выбраны диоды с относительно малой концентрацией уровней таллия, чтобы уменьшить влияние переходного слоя на кинетику релаксации емкости [6].

Измерения DLTS производили в режиме постоянной емкости с помощью установки, описанной в работе [7]. Температурную зависимость постоянной времени перезарядки ГУ θ определяли либо из смещения максимума пика при измерении окон стробирования, либо из одного пика путем сравнения экспериментальной зависимости $\Delta u = f(T)$ с теоретической [8]. Параметры ГУ вычисляли из зависимости

$$\ln(\theta T^2) = \frac{E_t}{kT} - \ln(v_p \sigma_p N_v) = f(1/T),$$

где $\sigma_p v_p$ — сечения захвата дырки и ее тепловая скорость, соответственно;

N_v — эффективная плотность состояний в валентной зоне.

При расчете предполагалось, что σ_p не зависит от T . Оба метода обработки результатов эксперимента давали одинаковые значения параметров ГУ. Типичная за-

висимость DLTS диодов p -Si(Tl) приведена на рис. 2. Пик с максимумом при $T = 110$ К связан с перезарядкой уровней таллия. Его ширина соответствует теоретическому значению для уровней с фиксированной энергией ионизации. Из прямой Аррениуса (см. рис. 2, б) определены параметры ГУ: $E_t = E_v + 0,27$ эВ и $\sigma \approx 6 \cdot 10^{-12}$ см². Энергия ионизации уровней таллия хорошо согласуется с известными из литературы значениями [3, 5, 9]. Пики при $T \approx 180$ и 260 К обусловлены ГУ с энергиями ионизации 0,33; 0,53 эВ и $\sigma \approx 3,3 \cdot 10^{-15}$ и $1,1 \cdot 10^{-14}$ см², соответственно. Эти уровни наблюдаются не во всех диодах и связаны, вероятно, с термодфектами.

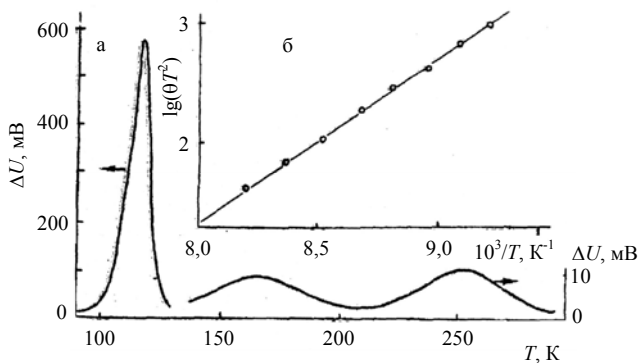


Рис. 2. Зависимость:

а — типичная DLTS диода из p -Si(Tl); б — постоянной времени термической перезарядки уровней таллия от обратной температуры

ет, что при легировании кремния таллием в процессе выращивания кристаллов по методу Чохальского таллий образует акцепторные уровни, которые по своим свойствам близки к уровням, возникающим в кремнии при других методах легирования [3, 5, 9]. Концентрация уровней таллия, определенная разными методами, достигает $\sim 8 \cdot 10^{15}$ см⁻³.

Л и т е р а т у р а

1. Реньян В. Р. Технология полупроводникового кремния. — М.: Наука, 1969. — 336 с.
2. Fuller C. S., Ditzenberg J. A. // J. Appl. Phys. 1956. V. 27. № 5. P. 544.
3. Мейер Дж., Эрикссон Л., Давис Дж. Ионное легирование полупроводников. — М.: Наука, 1973. — 296 с.
4. Астрова Е. В., Гонтарь В. М., Лебедев А. А. Емкостная и фотозлектрическая спектроскопия уровней таллия в кремнии // ФТП. 1985. № 7. С. 1273.
5. Мишис А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках. — М.: Мир, 1977. — 564 с.
6. Астрова Е. В., Лебедев А. А. Деп. в ЦНИИ "Электроника", 1985. № Р-4010.
7. Лебедев А. А., Кузнецов Н. А. Установка для автоматического измерения спектров НЕСГУ: Препринт ФТИ-1040. — Л., 1986. — 25 с.
8. Васильев А. В., Смагулова С. А., Шаймеев С. С. К вопросу о методике обработки спектров DLTS // ДТП. 1983. Т. 17. № 1. С. 162.
9. Боброва Е. А., Вавилов В. С., Вулис Ю. Д., Галкин Г. Н., Поспелов В. В. // ФТП. 1984. № 4. С. 696.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

Таким образом, из приведенных результатов следу-

Technology of manufacture of IR photodetectors from silicon doped by thallium

N. A. Sultanov

Fergana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan

The purpose of this work consisted in manufacture of IR photodetectors and measuring their parameters in the monocrystals which have been brought up on Czochralski method.