

7-10-2019

CHANGES OF THE WIDTH OF THE BAND GAP OF STRONGLY ALLOYED SEMICONDUCTOR

Muzaffar Gulomkodikodirovich Dadamirzaev
Namangan Institute of Civil Engineering, Art. teacher.

Nosir Yusupzhanovich Sharibaev
Namangan Institute of Technology DSc, f-m. Sciences, associate professor

Muslim Turgunov
Namangan State University undergraduate.

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/namdu>



Part of the [Physical Sciences and Mathematics Commons](#)

Recommended Citation

Dadamirzaev, Muzaffar Gulomkodikodirovich; Sharibaev, Nosir Yusupzhanovich; and Turgunov, Muslim (2019) "CHANGES OF THE WIDTH OF THE BAND GAP OF STRONGLY ALLOYED SEMICONDUCTOR," *Scientific Bulletin of Namangan State University*. Vol. 1 : Iss. 3 , Article 5.
Available at: <https://uzjournals.edu.uz/namdu/vol1/iss3/5>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific Bulletin of Namangan State University by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact brownman91@mail.ru.

CHANGES OF THE WIDTH OF THE BAND GAP OF STRONGLY ALLOYED SEMICONDUCTOR

Cover Page Footnote

???????

Erratum

???????

КУЧЛИ ЛИГЕРЛАНГАН ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРДА ТАҚИҚЛАНГАН ЗОНА КЕНГЛИГИНИ ЎЗГАРИШИ

Дадамирзаев Музаффар Гуломкодирович

Наманган муҳандислик-қурилиш институти катта ўқитувчи.

Шарибаев Носир Юсупжанович

Наманган муҳандислик-технология институти ф-м. фанлари доктори, доцент.

Тургунов Муслим

Наманган Давлат Университети магистрант

Аннотация: кучли лигерланган яримўтказгичларда тақиқланган зона кенглиги спектри тадқиқ қилинган. Яримўтказгичлардаги тақиқланган зона кенглигини лигерланиш даражаси ва ҳароратга боғлиқлигини кўрсатувчи модел тавсия қилинган. Шу модел ёрдамида яримўтказгичларда тақиқланган зона кенглиги ўрганилган

Калит сўзлар: тақиқланган зона, лигерланган яримўтказгич, модель, ҳароратга боғлиқлик, спектр, кучли лигерланиш.

ИЗМЕНЕНИЯ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ СИЛЬНОЛЕГИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Дадамирзаев Музаффар Гуломкодирович

Наманганский инженерно-строительный институт, ст. преподаватель.

Шарибаев Носир Юсупжанович

Наманганский инженерно-технологический институт доктор ф-м. наук, доцент.

Тургунов Муслим

Наманганский Государственный Университет, магистрант.

Аннотация: Исследованы спектры ширина запрещенной зоны в сильно легированных полупроводниках. Предлагается модель, для описания запрещенной зоны полупроводника в зависимости от степени легирования и от температуры. С помощью модели исследуются изменения ширины запрещенной зоны.

Ключевые слова: запрещенная зона, легированный полупроводник, модель, температурная зависимость, спектр, сильное легирование.

CHANGES OF THE WIDTH OF THE BAND GAP OF STRONGLY ALLOYED SEMICONDUCTOR

Dadamirzaev Muzaffar Gulomkodikodirovich

Namangan Institute of Civil Engineering, Art. teacher.

Sharibaev Nosir Yusupzhanovich

Namangan Institute of Technology DSc, f-m. Sciences, associate professor.

Turgunov Muslim

Namangan State University undergraduate.

Abstract: *The spectra of the band gap in heavily doped semiconductors are studied. A model is proposed for describing the band gap of a semiconductor depending on the degree of doping and on temperature. With the help of the model, changes in the width of the forbidden zone are investigated.*

Keyword: *forbidden zone, doped semiconductor, model, temperature dependence, spectrum, strong doping.*

Введение. Введение примесей в кристаллическую решетку при низкой концентрации не меняет ширину запрещенной зоны полупроводника и не влияет на энергетический спектр электронов. Только появляются дискретные уровни в запрещенной зоне. Когда концентрация примесей становится достаточно большой, меняется энергетический спектр и ширины запрещенной зоны кристалла[1].

В сильнолегированных полупроводниках особую роль играет взаимодействие носителей заряда с примесными атомами. Поглощение света с частотой меньшей пороговой $\omega = E_g / h$ естественно связано с наличием хвоста плотности состояний в запрещенной зоне. Полная концентрация уровней на хвостах меняется от вещества к веществу и от образца к образцу и часто оказываются довольно большой до 10^{19} - 10^{20} см⁻³.

Значения коэффициента поглощения света при $h\omega < E_g$ зависит от степени легирования. Здесь могут участвовать в основном самые глубокие уровни на хвостах плотности состояний значения $\alpha(\omega)$ при $\omega < E_g / h$ могут оказаться малыми. Наблюдаемые на опыте величины коэффициента поглощения представляет собой результат некоторого усреднения по координатам атомов примеси (о совокупности этих координат говорят, как о концентрации примеси). Из за случайного распределение концентрация примесей в различных частях образца разные. При выполнении измерения производится усреднение по конфигурациям [2].

При слабом легировании электрон взаимодействует с одним атомом примеси. Энергия взаимодействия одна и та же для всех электронов. При сильном легировании потенциальная энергия электрона зависит от положений сразу нескольких примесей. Энергия носителей становятся случайными величинами. При дальнейшем увеличением концентрации примесей становится заметным перекрытие волновых функций электронов локализованных на различных атомах примесей и примесный уровень размывается в зону. Об этом эффекте говорят как квантовом уширение уровня. [3]. Эти уширения дискретных уровней приводят к уменьшению ширины запрещенной зоны.

Модель температурной зависимости ширины запрещенной зоны в полупроводниках

Тепловое уширение энергетических уровней в разрешенных зонах и в запрещенной зоне кристалла также приводит к температурным изменениям ширины энергетических щелей. При низких температурах тепловое размытие энергетических уровней слабое и щель между уровнями в зависимости от температуры меняется по-разному. Расширения или сжатия ширина запрещенной зоне зависят от многих факторов. Одним из главных факторов определяющих ширину энергетических щели является критическое значение концентрации энергетических состояний. Когда критическая концентрация N_k равна плотности энергетических состояний $N_s=N_k$, область энергией с меньшей концентрацией, чем N_k , $N_s(E) < N_k$ определяет область запрещенных состояний. И на оборот, когда область энергией с большей концентрацией, чем N_k , $N_s(E) > N_k$ энергия разрешенных состояний. Условия $N_s(E) = N_k$ определяет край запрещенной зоне, дно зона проводимости E_c , и потолок ВЗ E_v . При таком подходе температурная зависимость запрещенной зоны определяется температурной зависимостью плотности состояний.

В работе [4,5] построена математическая модель спектра ППС разложением в ряд по $GN(E_0, E_i, T)$ функциям. Где $GN(E_0, E_i, T)$ является производная по энергии от вероятности ионизации электронов с энергетического уровня. С помощью которого, было анализирована температурная зависимость дискретных энергетических уровней в запрещенной зоне кремния. Функция $GN(E_0, E_i, T)$ определяет наличия энергетического уровня. Модель усовершенствовалась [6, 7, 8] для анализа спектра ПС в широком энергетическом диапазоне. Рассмотрим эту модель для данной задачи. Разложим спектр плотности энергетических состояний, $N_s(E_0, T)$ по $GN(E_0, E_i, T)$ согласно модели в виде:

$$N_s(E) = N_{sn}(E) + N_{ss}(E) + N_{sp}(E) \quad (1)$$

$N_{sn}(E, T)$ для зоны проводимости:

$$N_{sn}(E, T) = \sum_{i=1}^n N_{n0} \sqrt{E_i - E_c} GN(E_i, E, T) \Delta E \quad \text{при } E > E_c \quad (2)$$

$N_{sp}(E, T)$ для валентной зоны:

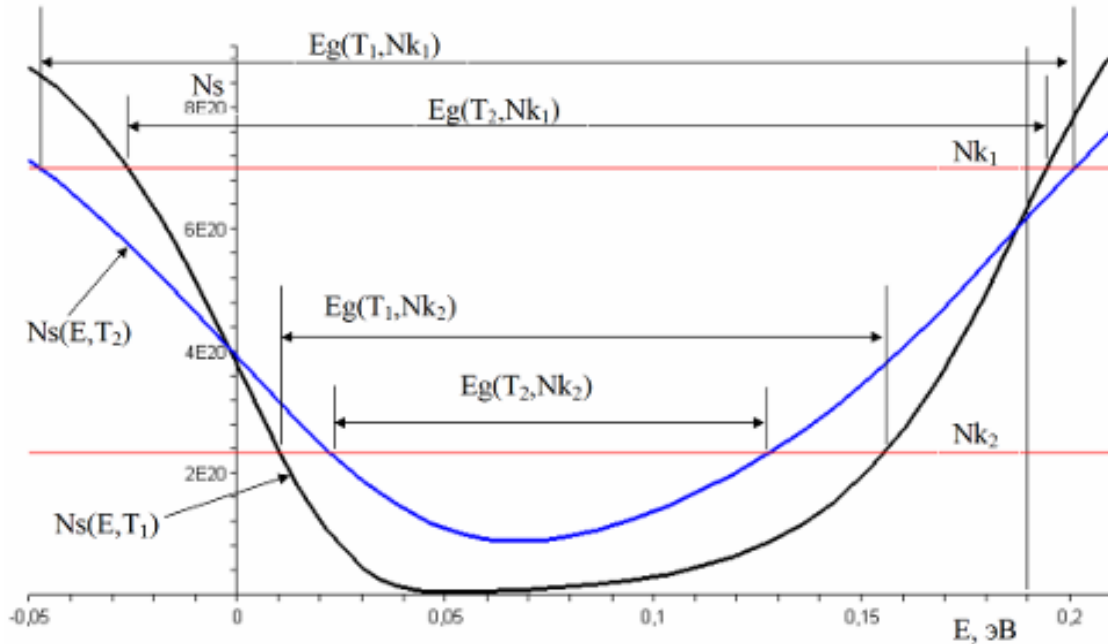
$$N_{sp}(E, T) = \sum_{i=1}^n N_{p0} \sqrt{E_p - E_i} GN(E_i, E, T) \Delta E \quad \text{при } E < E_v \quad (3)$$

$N_{ss}(E, T)$ для запрещённой зоны:

$$N_{ss}(E, T) = \sum_{i=1}^n N_{ssi}(E_i) GN(E_i, E, T) \text{ при } E_c > E > E_v \quad (4)$$

$$\text{Где } GN(E_0, E_i, T) = \frac{1}{kT} \exp\left(\frac{1}{kT}(E_i - E_0) - \exp\left(\frac{1}{kT}(E_i - E_0)\right)\right) \quad (5)$$

здесь E_i - может пробегать по всей валентной, запрещенной зоне и зоны проводимости. N_{s_i} -концентрация энергетических состояний соответствующая для энергии E_i , E_0 -энергия состояний, T -температура. k - постоянная Больцмана.



N_{k1}, N_{k2} -критическая концентрация. $T_1 < T_2$ -температура.

Рис. 1. Спектр плотности энергетических состояний узкозонных полупроводников построенный по математической модели (1).

В зависимости от поведения функции $N_s(E_0, T)$ и критического значения концентрации N_k температурная зависимость энергетических щелей могут быть по-разному (см. рис. 1). При концентрации N_{k0} ширина запрещенной зоны слабо зависит от температуры. В частности, при концентрации ниже некоторой N_{k0} с ростом температуры ширина запрещенной зоны должен уменьшаться. Максимальное значение ширина запрещенной зоны имеет при $T \rightarrow 0$. В большинстве полупроводниках ширина запрещенной зоны уменьшается с ростом температуры. Эта соответствует к случаи $N_k < N_{k0}$.

При больших критических концентрациях $N_k > N_{k0}$ с ростом температуры ширина запрещенной зоны увеличивается. Большинство полупроводников $N_k < N_{k0}$, критическая концентрация меньше N_{k0} на пример $Si, Ge, GaAs$ и др. Однако, в некоторых полупроводниках на пример $PbS, PbTe$ и др. холкогениды свинца

ширина запрещенной зоны увеличивается с ростом температуры, т.е. критическая концентрация достаточна большая $N_k > N_{k0}$. По этому, с ростом температуры, ширина запрещенной зоны увеличивается. Увеличения или уменьшения ширина запрещенной зоны с ростом температуры можно объяснить с помощью теплового расширения.

Изменение ширины запрещенной зоны в сильнолегированных полупроводниках

В работе [9] наблюдается поглощения монохроматического света в частотах ниже порогового. Сильным легированием кремния ширина запрещенная зона уменьшилось до 0.6 эВ. Красная граница для энергии фотонов уменьшилось с 1.2 эВ до 0.6 эВ. Следовательно, легирования с примесями глубокими уровнями расширяют зона проводимости и валентную зону. Это усиливает поглощение света ниже красной границе.

Поглощения на свободных носителях в кристаллических полупроводниках обычно наблюдаются тогда, когда величина энергии меньше края фундаментального поглощения. Поглощения в интервале 0.5-0.9 эВ для кремния обусловлены примесными состояниями в запрещенной зоне. Примесные состояния уменьшают ширину запрещенной зоны полупроводника. Свойства никеля в кремний изучается широко. Это связано с технической простотой легирования и формирования кластеров. Легированием кремния никелем, в основном, изучены материалы с не большой концентрацией примеси до 10^{15} - 10^{16} см⁻³. При таких концентрациях примеси ширина запрещенной зоны полупроводника практически не меняется. Повышение концентрации приводит к изменению свойства энергетических щелей и других характеристик материала. Особенно при высоких концентрациях примеси образуются кластеры с большой плотности энергетических состояний в запрещенной зоне кремния, который приводит к примесной проводимости. Этим изменяется электропроводимость, которая означает уменьшения запрещенная зона полупроводникового материала.

Учитывая, что запрещенную зону в полупроводниках можно определить по плотности энергетических состояний, т. е. область, где не высокая плотность энергетических уровней означает запрещенную зону материала [1] введем понятия величины критической концентрации N_{Sextr} . Величина N_{Sextr} определяет границу между запрещенной и разрешенной зоны. Энергия E_c -дно зоны проводимости и E_v -потолок валентной зоны соответствующие плотности энергетических состояний N_{Sextr} , где для всех $[E_c, E_v]$ соответствуют плотности энергетических состояний $N_S < N_{Sextr}$.

Используем усовершенствованный модель [6, 7, 8] для анализа спектра плотности состояний в широком энергетическом диапазоне для данной задачи.

Разложим спектр плотности энергетических состояний, $N_s(E_0, T)$ по $GN(E_0, E_i, T)$ согласно (1), (2), (3), (4) и (5). В нашей задаче температура не меняется $T=300\text{K}$. По валентной зоне и по зоны проводимости соответствующая концентрация энергетических состояний $N_{s_i}=10^{23}\text{см}^{-3}$. Наличие энергетических уровней в запрещенной зоне определяются по данным эксперимента [10].

Для простоты будем считать коэффициенты N_{s_i} -концентрация дискретных энергетических состояний по энергии E_i для запрещенной зоны пропорционально меняются по величине коэффициентов полученных экспериментов легирования с малыми концентрациями примесей [9,11,12]. Теперь остаётся определить параметр $N_{s_{extr}}$ -критическая концентрация. Это определяется экспериментом и для каждого материала определяется значение $N_{s_{extr}}$. В работе [10] исследован кремний легированный никелем. Получено распределение плотности поверхностных состояний по запрещенной зоне для $Al-SiO_2-n-Si$ структур с концентрацией примеси Ni 10^{10} - 10^{11}см^{-2} [9]. Из полученного спектра плотности поверхностного состояний, получен спектр плотность состояний. На рисунке 2 приведены спектры плотности состояний для разных концентраций примеси. Наличие примеси Ni в $n-Si$ приводит изменению спектра N_s и образованию явно выраженных пиков в близи энергий со значениями $E_1-0,17\text{эВ}$, $E_1-0,34\text{эВ}$, $E_1-0,39\text{эВ}$. Объемная концентрация получена из поверхностных по формуле $N_s = N_{s_s}^{\frac{2}{3}}$, концентрация примеси соответственно 10^{15} - 10^{16}см^{-3} .

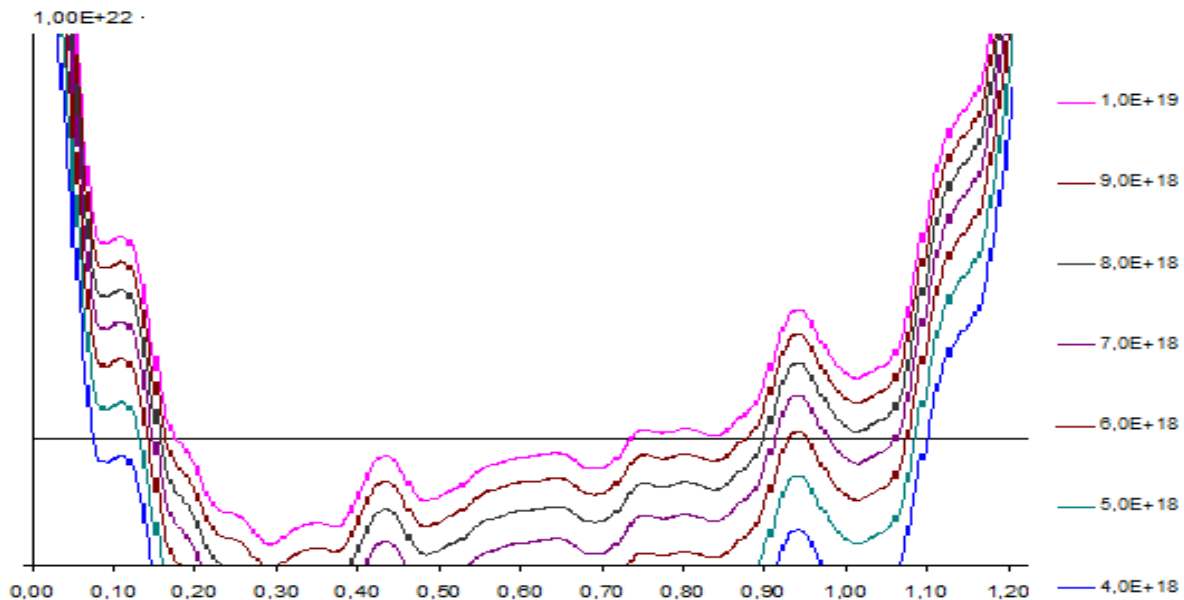


Рис. 2. спектр плотности состояний сильнолегированного полупроводника

Заключение

Легирования Si с примесями Ni высокой концентрации способствует

появлений примесной проводимости, благодаря чему повышается электропроводимость полупроводника. Меняются энергетические спектры, т.е. получается новый полупроводниковый материал. Исследования показали, что кремний легированный повышением концентрации никелем можно управлять шириной запрещенной зоны полупроводника. Результаты показывают, что при достаточно высокой концентрации примеси 10^{19} см^{-3} можно получить полупроводниковый материал $\text{Si}(\text{Ni})$ с шириной запрещенной зоны в пределах $E_g=0.3\text{эВ}$. Кроме этого появляется возможность управления шириной запрещенной зоны с изменением концентрации примеси.

References

1. Mott N., Devis E.. “Elektronnye protsessy v nekrystallicheskih veshchestvax”, - M.Mir1982s
2. Bonch-Bruevich L., Zviyagin I.P., Kayper R., Mironov G., Enderlayn R., Esser B. Elektronnaya teoriya neuporyadochennyykh poluprovodnikov. -Moskva.1981. Nauka. 384; С.
3. Bonch-Bruevich V.L., Kalashnikov; C. G. Fizika poluprovodnikov. - M.: Nauka, 1977.
4. [4] Gulyamov G., SHaribaev N.YU. Opredelenie PPS granitsy razdela, poluprovodnik-dielektrik, v MDP-strukture // FTP – Sankt Peterburg, 2011, - T.45. №2. -; С. 178-182.
5. Gulyamov G. G., SHaribaev N. YU., Opredelenie diskretnogo spektra PPS MOP Struktur Al-SiO₂-Si, obluchennykh neytronami // Poverxnost. Rentgenovskie, sinxrotronnye i neytronnye issledovaniya, 2012, № 9, С. 13-17
6. Gulyamov G., Erkaboev U. I., Sharibaev N.Yu. The temperature dependence of the density of states in semiconductors // World Journal of Condensed Matter Physics. - Irvine CA, USA, 2013. - vol.3 №.4. -rr.216-220.
7. G.Gulyamov, N.YU. SHaribaev, Issledovaniya temperaturnoy zavisimosti SHZZ Si i Ge s pomoshchyu modeli // Fizicheskaya injeneriya poverxnosti, 2013, t.11, № 2 c.231-237
8. Gulyamov G., SHaribaev N.YU., Vliyanie effektivnoy massy plotnosti sostoyaniy na temperaturnuyu zavisimost shiriny zapreshchennoy zony v tverdykh rastvorax p-Bi_xSb_{1-x}Te_{3-y}Se_y// Fizicheskaya injeneriya poverxnosti, 2013, t.11, № 2 c.20-23
9. Bakhadyrkhanov M.K., Mavlyanov A.Sh., Sodikov U.Kh., Khakkulov M.K., Silicon with Binary Elementary Cells as a Novel Class of Materials for Future Photoenergetics, // Geliotekhnika, 2015, No. 4, pp. 28-32.
10. Gulyamov G., Karimov I.N., SHaribaev N.YU., Erkaboev U. Opredelenie PPS na granitsu razdela poluprovodnik dielektrik v strukturax Al-SiO₂-Si i Al-SiO₂-n-Si<Ni> pri nizkoy temperature // Uzbekskiy fizicheskij jurnal. - Tashkent, 2010 -12(№3), -S.143-146.

11. Bagraev N.T., Klyachkin L.E., Kuzmin R.V., Malyarenko A.M., Mashkov V.A., Infrakrasnoe izluchenie iz kremnievyykh nanostruktur, silno legirovannykh borom // Fizika i texnika poluprovodnikov, 2012, tom 46,выр.3
12. Romaka V.A., Rogl P., Romaka V.V., Kaczorowski D., Stadnyk YU.V., Korj R.O., Krayovskiy V.YA., Kovbasyuk T.M. [Osobnosti zonnoy struktury i mexanizmov provodimosti poluprovodnika n-HfNiSn, silno legirovan-nogo Lu // Fizika i texnika poluprovodnikov. God 2015, выпуск 3, Statya str. 299](#)