

ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК СИЛИЦИДА ХРОМА И ОЦЕНКА ИХ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ

Довранов К.Т., Давранов Х.Т., Юлдошев О.Ю.,

Туракулов Х.А., Давлатов М.А.

Каршинский государственный университет. Карши 180100. Узбекистан

quvondiqdavronm@gmail.com

+998972001773

Аннотация: Тонкие пленки CrSi_2 формировались на поверхности кремния методом магнетронного распыления. Мы представили метод определения ширины запрещенной зоны полученных пленок с использованием спектров диффузного отражения с использованием теорий Кубелки-Мунка и Тауца. При этом светорассеяние описывает движение света внутри образца. Ширина запрещенной зоны рассчитывается путем построения графика коэффициента поглощения и квадратного произведения энергии $(\alpha E)^2$ на энергию E , $((\alpha E)^2/E)$. Ширина запрещенной зоны может быть получена путем продолжения прямой линии, касательной к оси E от правильного участка графика, который равен 1,1512 эВ для кремния и 0,3543 эВ для CrSi_2 . был определен.

Ключевые слова: ширина запрещенная зоны, тонкие пленки CrSi_2 , спектры диффузного отражения, коэффициент поглощения, спектрометр UV-Vis, Кубулька -Мунка, соотношения Тауца.

FORMATION OF THIN FILMS OF CHROMIUM SILICIDE AND EVALUATION OF THEIR BAND GAP

Dovranov K.T., Davranov H.T., Yuldoshev O.Y.,

Turakulov H.A., Davlatov M.A.

Karshi State University. Karshi 180100. Uzbekistan

quvondiqdavronm@gmail.com

+998972001773

Annotation: Thin CrSi_2 films were formed on the silicon surface by magnetron sputtering. We have presented a simple method for determining the band gap of obtained films using diffuse reflectance spectra using the Kubelka-Munk and Tauc theories. In this case, light scattering describes the movement of light inside the sample. The band gap is calculated by plotting the absorption coefficient and the square product of energy $(\alpha E)^2$ and energy E , $((\alpha E)^2/E)$. The band gap can be obtained by extending a straight-line tangent to the E axis from the correct portion of the graph, which is 1.1512 eV for silicon and 0.3543 eV for CrSi_2 . has been defined.

Key words: band gap, CrSi_2 thin films, diffuse reflectance spectra, absorption coefficient, UV-Vis spectrometer, Kubelka-Munk, Tauc relations.

XROM SILISID YUPQA PLYONKALARINI HOSIL BO'LISH VA ULARNING TAQIQLANGAN ZONA KENGLIGINI BAHOLASH

Dovranov K.T., Davranov X.T., Yo'ldoshev O.Y.,

To'raqulov X.A., Davlatov M.A.

Qarshi davlat universiteti. Qarshi 180100. O'zbekiston

quvondiqdavronm@gmail.com

Annotatsiya: Kremniy yuzasida magnetron purkash qurilmasi ordamida CrSi_2 yupqa plyonkalari hosil bo'ldi. Biz Kubelka-Munk va Tauc nazariyalaridan foydalangan holda diffuz aks ettirish spektrlari yordamida olingan plyonkalarining taqiqlangan zona kengligini aniqlashning bir usulini taqdim etdik. Bunday holda, yorug'likning tarqalishi namuna ichidagi yorug'likning harakatini tavsiflaydi. Tarmoq oralig'i yutilish koeffitsienti va energiyaning $(\alpha E)^2$ kvadrat ifodasining E , $((\alpha E)^2/E)$ energiyasiga nisbatan grafigini tuzish orqali hisoblanadi. Tarmoq bo'shlig'ini grafikning to'g'ri qismidan E o'qiga to'g'ri chiziq tangensini kengaytirish yo'li bilan olinishi mumkin, bunda kremniy uchun 1,1512 eV va CrSi_2 uchun 0,3543 eV. ga teng ekanligi aniqlangan.

Kalit so'zlar: taqiqlangan zona kengligi, CrSi_2 yupqa plyonkalar, diffuz aks ettirish spektrlari, yutilish koeffitsienti, UV-Vis spektrometri, Kubelka-Munk, Tauc munosabatlari.

I. Введение

Оптические полупроводниковые устройства (светоизлучающие диоды и лазерные диоды) или светоприемные устройства (солнечные панели и фотодетекторы), длины волн света зависят от используемых оптических полупроводниковых материалов. [1]. Оптическая ширина запрещенной зоны является важным фактором для полупроводников. Термин «запрещенная зона» относится к разнице энергий между верхней частью валентной зоны и нижней частью зоны проводимости, где электроны могут перепрыгивать из валентной зоны в зону проводимости. Для того чтобы электрон переместился из валентной зоны в зону проводимости, ему необходима определенная минимальная энергия для движения [2]. Ширина запрещенной зоны может быть классифицирована прямо или косвенно, если минимум энергии (внизу) зоны проводимости находится непосредственно над максимумом энергии (вверху) валентной зоны. У них одинаковый импульс кристалла (k -вектор). В противном случае ее называют «косвенной» пропускной способностью [3]. Диаграмма, показывающая ширину запрещенной зоны, представлена на рисунке 1.

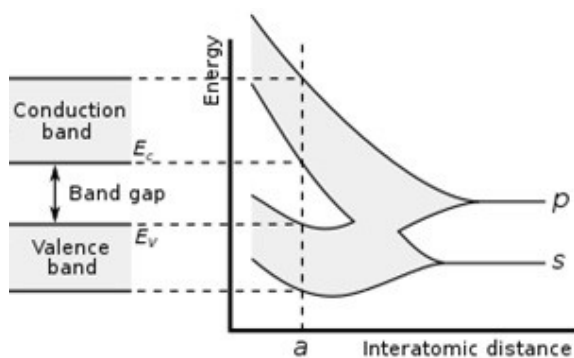


Рис.1. Энергетическая зона полупроводника

II. Экспериментальная техника

Морфология поверхности, структура и толщина пленок CrSi_2/Si исследованы методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и дифракции быстрых электронов. Коэффициент светопоглощения определяли с помощью слегка модифицированного стандартного прибора УФ-1900. Все пленки CrSi_2 были получены при комнатной температуре и были аморфными.

Пленка была отожжена при 720 К в течение 1,2 часа для получения поликристаллической структуры.

Спектрометр УФ-видимой области используется для измерения оптических свойств образца. Он состоит из источника света для спектрального диапазона и прибора для измерения пропускания KBr в видимом и ИК спектрах, с монохроматором для выбора одной частоты (длины волны) из всех частот, предоставляемых источником излучения, для сканирования на нужной частоте. Для монокристаллических материалов коэффициент диффузного отражения является отличным методом анализа оптических свойств образца [4,5].

При направлении электромагнитного излучения на поверхность тонкой пленки возникают два типа отражения: зеркальное отражение и диффузное отражение (ДР). Зеркальное отражение – это прямое излучение от поверхности пленки и в соответствии с законом отражения Снеллиуса; угол падения равен углу отражения. Диффузное отражение (DR) — это зависящее от длины волны поглощение излучения, входящего и рассеивающегося от пленки и внутри наноматериала. Часть этого излучения в конечном итоге покидает объемный образец во всех направлениях. Аксессуар DR не является зеркальным компонентом, а предназначен для сбора диффузного отражения и направления его на фотоприемник. Измерение коэффициента диффузного отражения (DR) с помощью спектрофотометра UV-Vis является стандартным методом определения оптических свойств тонких пленок [6,7]. В случае полупроводниковых наноматериалов CrSi_2 эти свойства потенциально зависят от коэффициента поглощения (K) и ширины запрещенной зоны (E_g) [6]. В частности, E_g является важным свойством полупроводниковых нанопленок, определяющим их применимость в оптоэлектронных приложениях. В спектроскопии ДО существует множество методов приготовления тонких пленок.

Первоначальная идея использования спектров ДО, полученных от полупроводниковых наноструктур, для расчета ширины запрещенной зоны

была предложена теорией Кубелки -Мунка в 1931 г [8, 9]. Первоначально теория описывает движение света в пределах картины светорассеяния и основана на двух дифференциальных уравнениях:

$$\begin{aligned} -di &= -(S+K)idx + Sjdxdx \\ -dj &= -(S+K)jdx + Sidxdx \end{aligned} \quad (1)$$

где i и j — интенсивности света, движущегося внутри образца к его неосвещенной и освещенной поверхностям соответственно; dx - дифференциальная часть на пути света; S и K — коэффициенты рассеяния и поглощения соответственно. Теория Кубелки -Мунка верна для частиц с размерами, сравнимыми с длиной волны падающего света или меньшими, и DR больше не учитывает вторичные вклады отражения, преломления и дифракции.

Если толщина образца находится в соответствующих пределах, это не повлияет на отражение. Поэтому уравнение Кубелки -Мунка можно записать для любой длины волны:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R_{\infty})^2}{2 \cdot R_{\infty}} = F(R_{\infty}) \quad (2)$$

где R_{∞} — коэффициент диффузного отражения, а $F(R_{\infty})$ — функция Кубелки -Мунка. В параболической зонной структуре E_g и коэффициент поглощения связаны известным соотношением Тауца [10,11]. Для материала с прямой шириной запрещенной зоны соотношение Тауца определяется выражением:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n \quad (3)$$

где α — линейный коэффициент поглощения, ν — частота света, A — константа пропорциональности. n — показатель, определяющий тип межзонных переходов, n принимается равным 1/2 для материалов с прямой запрещенной зоной. Если падающее излучение полностью рассеяно, коэффициент поглощения K равен 2α . В этом случае, считая коэффициент рассеяния S постоянным относительно длины волны, функция Кубелки- Мунка пропорциональна коэффициенту поглощения α , и применяя уравнение (2), получаем следующее соотношение:

$$[F(R_{\infty})h\nu]^2 = A(h\nu - E_g) \quad (4)$$

$(\alpha h\nu)^2$ и $h\nu$, и ширина запрещенной зоны пленки CrSi_2 легко вычисляется.

III. Результаты и их обсуждение

С помощью молекулярного турбонасоса (вакуум Pfeiffera) в камере магнетронного прибора ЭПОС-ПВД-ДЕСК-ПРО создавался высокий вакуум при давлении 10^{-6} Торр. Сначала поверхность прозрачных стеклянных и кремниевых пластин подвергалась механической очистке 25% разбавленной плавиковой кислотой, затем поверхность стекла и кремния повторно очищалась ионизирующими газами аргона внутри камеры с помощью установленного устройства очистки «ионная пушка». в камере магнетрона [4]. Ток от источника питания магнетрона составлял 716 мА, мощность 263 Вт, напряжение 320 В. Воздух в камеру засасывался до достижения давления $5,6 \cdot 10^{-5}$ торр с помощью турбонасоса. Сначала формировали тонкие пленки $\text{CrSi}_2/\text{Si}(111)$ различной толщины при комнатной температуре и давлении $3,8 \cdot 10^{-4}$ мбар «ионно-плазменным» методом.

СЭМ-изображение пленок CrSi_2 представлено на рис. 2. Из рисунка видно, что отдельные участки пленки размером 90-150 нм (черные фазы) не покрыты кремнием. Поверхность Si (111) полностью покрывается аморфной пленкой CrSi_2 в течение 1 мин напыления. СЭМ-изображение и картина ДБЭО (вставка) тонкой пленки CrSi_2 , полученной 120-секундным магнетронным распылением на поверхности кремния, отожженной при $T=720$ К в течение 1,2 часа. представлена на рис. 2. Как видно из рисунка, в этом случае формируется гладкая и однородная поликристаллическая пленка CrSi_2 . На рис. 4 показано СЭМ-изображение поперечного сечения тонкой пленки для системы $\text{CrSi}_2/\text{Si}(111)$. Видно, что толщина пленки составляет около 80 нм.

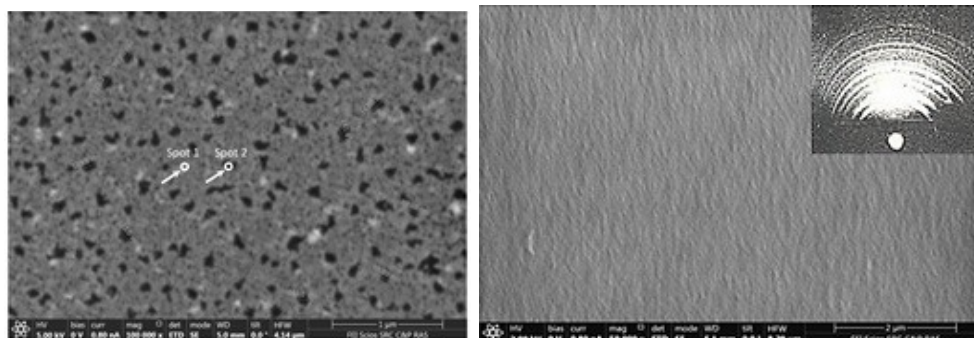


Рис.2. СЭМ-изображение поверхности пленки CrSi_2 /Si(111) и картина ДБЭО (вставка) тонкой пленки CrSi_2 , полученной 120-секундным магнетронным распылением на поверхности кремния, отожженной при $T = 720 \text{ K}$ в течение 1,2 ч.

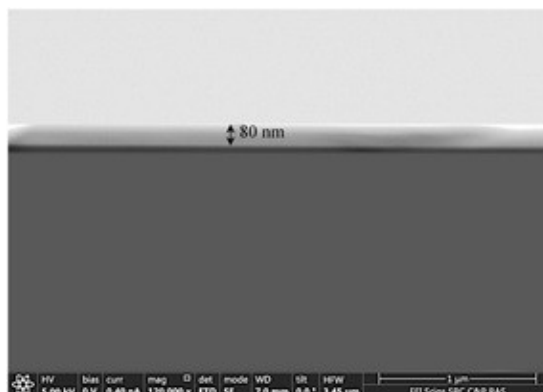


Рис.3. СЭМ-изображение поперечного сечения тонкой пленки CrSi_2 , сформированной магнетронным распылением на поверхности кремния в течение 120 с, затем отожженной при $T = 720 \text{ K}$ в течение 1,2 ч.

Спектры диффузного отражения (ДО) впервые получены на спектрометре UV-Vis тонких пленок CrSi_2 , выращенных ионно-плазменным методом в магнетронной установке в высоком вакууме. Используя соотношения Кубульки-Мунка и Тауца, ширину запрещенной зоны тонких пленок рассчитывали по формуле 4.

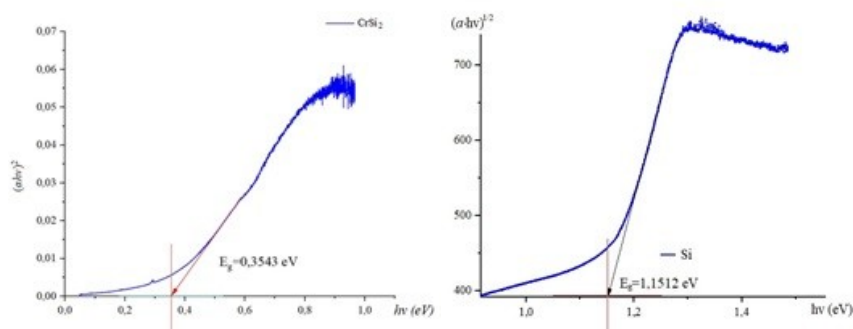


Рис.4. Графики Тауса для тонких пленок CrSi_2 и Si(111)

Запрещенная ширина запрещенной зоны пленок силицида хрома была рассчитана из соотношения Тауца, приведенного в уравнении (3) на основе E_g Теория Кубелки-Мунка. Нарисованы графики $(\alpha E)^2$ и E . Правильная линия установлена для правильного сегмента на графиках. Экстраполяция этой прямой на ось абсцисс (E) дает значения ширины запрещенной зоны. Графики

Тауца для пленок Si (111) и CrSi₂ показаны на рис. 4. Например, значения получены путем экстраполяции линии на ось абсцисс. В результате измерений ширина запрещенной зоны составляет 1,152 эВ для Si (111) и 0,3543 эВ для CrSi₂.

IV. Заключение

Нами успешно получены тонкие пленки CrSi₂ на поверхности кремния ионно-плазменным методом в высоком вакууме. Первоначально пленки находились в аморфном состоянии. При нагреве при 720 К в течение 1,2 мин переходит в поликристаллическое состояние. Тонкие пленки CrSi₂, выращенные магнетронным распылением, используются для определения ширины запрещенной зоны по спектрам поглощения и диффузного отражения (ДРО). Измерение ширины зоны основано на теории Кубелки -Мунка, которая описывает движение света в пределах картины рассеяния света. Ширина запрещенной зоны рассчитывается путем построения графика коэффициента поглощения и квадратного произведения энергии $(\alpha E)^2$ на энергию E $((\alpha E)^2/E)$. Ширина запрещенной зоны может быть получена путем продолжения прямой линии, касательной к оси E, от правильного участка графика, который составляет 1,1512 эВ для кремния и 0,3543 эВ для CrSi₂.

Рекомендации

1. Tiantian H. Optical Properties of Low Dimensional Semiconductor Materials Department of Theoretical Chemistry School of Biotechnology Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden. (2008).
2. Dharma, Jayant. Simple Method of Measuring the Band Gap Energy Value of TiO₂ in the Powder Form using a UV/Vis/NIR Spectrometer Global Application Laboratory PerkinElmer, Inc. Shelton, CT USA. (2013).
3. Ali Badawi, M.G. Althobaitia, Sami S. Alharthi, Ateyyah M. Al-Baradia. Tailoring the optical properties of CdO nanostructures via barium doping for optical windows applications. Physics Letters A 411 (2021) 127553.

4. Normuradov M T, Khozhiev SH T, Dovranov K T, Davranov KH T, Davlatov M A, Khollokov F K. Development of a technology for the production of nano-sized heterostructured films by ion-plasma deposition. Structure of materials. ISSN 2071-0194. Ukr. J. Phys. 2023. Vol. 68, No.3.
5. K.C. Preetha, T.L. Remadevi. Band gap engineering in PbSe thin films from near-infrared to visible region by photochemical deposition method. J Mater Sci: Mater Electron (2014) 25:1783–1791.
6. Довранов К, Измерение ширины запрещенной зоны методом спектроскопии тонких пленок. News of UzMU journals, 2023, [3/1/1]. ISSN 2181-7324. C.551-555. <http://journals.nuu.uz>
7. Murphy, A.B., Solar Energy Materials and Solar Cells 91, 1326-1337. (2007).
8. Kubelka P and Munk F Z. Tech. Phys. 12, 593. (1931).
9. Morales A E, Mora E S. and Pal, U. Revista Mexicana De Fisica S53 (5) 18- 22. (2007).
10. Sabiu Said Abdullahi, Sadik Güner, Yuksel Koseoglu, Ibrahim Murtala Musa, Bala Ismail Adamu, Mahmud I Abdulhamid. Simple Method For The Determination of Band Gap of a Nanopowdered Sample Using Kubelka Munk Theory. Journal of the Nigerian Association of Mathematical Physics. Volume 35, (May, 2016), pp 241-246.
11. Shimadzu. Measurements of band gap in Compound semiconductors, band gap determination from the diffuse reflectant spectra spectrometric analysis No. A428