

**ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК n-Ag₄STe ЗА КРАЕМ
ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ**

**Ш.М.АЛЕКПЕРОВА, А.А.АЛИЕВ, Х.Д.ДЖАЛИЛОВА, И.А.АХМЕДОВ,
Г.С.ГАДЖИЕВА**

*Институт Физики НАН Азербайджана
AZ 1143, г.Баку, пр.Г.Джавида, 33*

Проведены исследования оптических спектров тонких пленок (0,3÷0,5мкм) n-Ag₄Ste в области энергий 0,04÷0,12eV. Определены частота плазменного резонанса $\omega_p=1,27 \cdot 10^{14} \text{с}^{-1}$, эффективная масса электронов $m^*=0,25m_j$. За краем фундаментального поглощения обнаружены сравнимые с ним по величине сильные полосы поглощения, обусловленные мелкими примесями (пик 0,093eV), а также поглощением на свободных носителях с переходами между подуровнями зоны проводимости (пики 0,062 и 0,05eV). Многочисленные узкие полосы в области поглощения на свободных носителях свидетельствуют о сложной структуре зоны проводимости.

Тройное соединение n-Ag₄STe образуется анионным замещением компонентов в бинарной системе Ag₂S–Ag₂Te по перитектической реакции [1]. Из холловских измерений определены: концентрация $n=4,3 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$, подвижность $\mu=2,5 \cdot 10^3 \text{см}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$ носителей заряда и удельная проводимость $\sigma=1,7 \cdot 10^3 \text{Ом} \cdot \text{см}^{-1}$ при 300К [2].

Исследование селективного поглощения свободными носителями позволяет выявить особенности зонной структуры, рассчитать энергетическое расщепление подзон и значения эффективных масс свободных носителей заряда.

Впервые исследованы ИК спектры тонких пленок (0,3÷0,5мкм) n-Ag₄STe, полученных вакуумным напылением (10⁻³Pa) исходного поликристаллического n-Ag₄STe на подогретые (370÷450К) свежесколотые срезы NaCl и оптическое стекло. При напылении на подогретые подложки пленки получают сплошными и тонкими. Электронографический и рентгеновский анализы подтвердили идентичность полученных пленок с исходной шихтой.

Спектры пропускания $T(\lambda)$ и отражения $R(\lambda)$ тонкой пленки n-Ag₄STe измерены на спектрометре ИКС-31 в неполяризованном свете при нормальном падении луча (Рис.1). Спектр отражения характерен для полупроводников с высокой концентрацией свободных носителей заряда. Из теории [3] известно, что совокупность электронов и дырок, образующих плазму, при воздействии электромагнитного излучения приходит в колебательное движение с характерной плазменной частотой. Собственные колебания плазмы приводят к поглощению света, не зависящему от механизма рассеяния свободных носителей. Вклад свободных носителей заряда приводит к тому, что вблизи частоты плазменного резонанса наблюдается плазменный минимум отражения, положение которого связано с эффективной массой m^* и концентрацией n свободных носителей заряда [2].

В спектрах отражения полученных пленок n-Ag₄STe плазменный минимум наблюдается на длине волны 20мкм, при котором коэффициент отражения падает почти до нуля (Рис.1). Также отмечается полоса сильного отражения сразу за краем собственного поглощения с пиком в области 12мкм.

Спектр поглощения. $\alpha(\lambda)$ (Рис.2) рассчитан из экспериментальных спектров пропускания $T(\lambda)$ и отражения $R(\lambda)$ по номограммам [4]. Оптическая ширина запрещенной зоны n-Ag₄STe, определенная по краю поглощения, $E_g=0,103 \text{eV}$. Из спектральной зависимости коэффициента поглощения видно, что помимо основного края поглощения, начиная с энергии 0,103эВ, обусловленного переходами зона-зона, за краем фундаментальной полосы поглощения при более

длинных волнах наблюдается ряд дополнительных полос с коэффициентом поглощения до 10^4 см^{-1} .

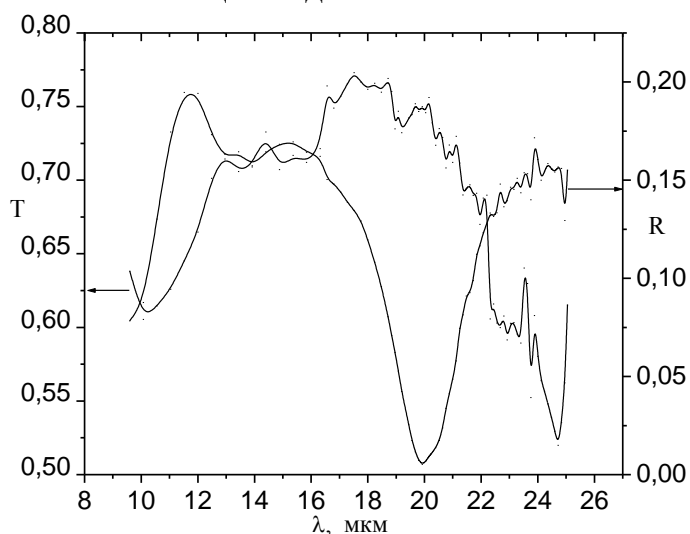


Рис.1.

Спектры пропускания и отражения тонкой пленки n-Ag₄STe.

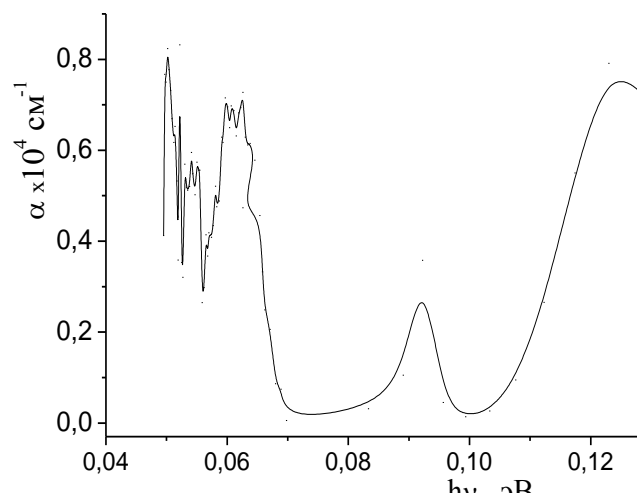


Рис.2.

Спектр поглощения тонких пленок n-Ag₄STe

За краем собственного поглощения в сторону длинных волн спектр поглощения имеет сложную структуру. Уже, начиная с энергии 0,10eV, проявляется полоса поглощения с максимумом при 0,093eV, где коэффициент поглощения достигает $3,7 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$. Далее наблюдаются еще две сильные полосы поглощения со сложной структурой: с максимумами при 0,062eV, где коэффициент поглощения растет до $7,2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$, и при 0,05eV, где коэффициент поглощения достигает величины $8,3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$. Полосы поглощения при энергиях 0,062, 0,05 где коэффициент поглощения, по-видимому, соответствуют переходам между подуровнями зоны проводимости, так как спектр состояний в разрешенных зонах непрерывный и свободные носители с одного уровня на другое могут переходить под действием сколь угодно малого возмущения [2,5].

Чередующиеся узкие пики в длинноволновой области спектра за краем поглощения обусловлены внутризонным селективным поглощением на свободных носителях. Наличие такого поглощения говорит о сложной структуре зоны проводимости n-Ag₄STe.

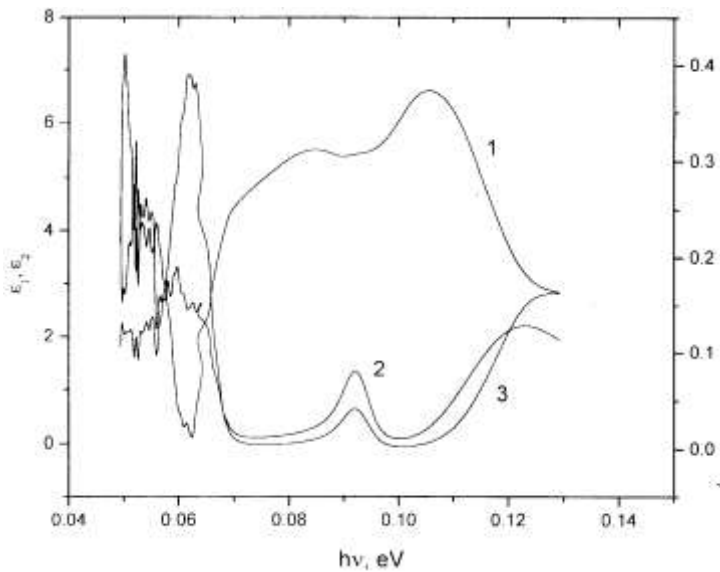
Известно, что поглощение, связанное с переходами с глубоких примесных состояний, дает вклад в поглощение в более длинноволновой области, а с мелких - непосредственно за краем фундаментальной полосы поглощения. Поэтому полосу поглощения с максимумом при 0,093eV можно идентифицировать с мелкими примесными уровнями.

Коэффициент поглощения свободными носителями заряда согласно классической теории Друде-Лоуренса $\alpha(\lambda) = (ne^2\lambda^2)/m^*8\pi^2c^3\tau(k)$ [5], т.е. коэффициент поглощения свободными носителями должен быть пропорционален квадрату длины волны, что и выполняется на участке 0,10÷0,05эВ.

Из минимума спектра отражения определяем: $\omega_{\text{мин}} = 2\pi c/\lambda = 1,15 \cdot 10^{14} \text{ сек}^{-1}$, а из соотношений $\omega_{\text{мин}} = \omega_p \{\epsilon_o/(\epsilon_o - 1)\}^{1/2}$ и $\omega_p^2 = 4\pi e^2 n/m^*$ ($n = 4,3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) определены: частота плазменного резонанса $\omega_p = 1,27 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$, эффективная масса электронов $m^* = 0,25m_j$ и энергия плазменных колебаний $\hbar\omega_p = 0,036 \text{ эВ}$.

Оптические постоянные n, k (коэффициенты преломления и экстинкции) описывают поведение плоской электромагнитной волны в твердом теле, а

поведение вещества в электромагнитном поле описывается диэлектрической проницаемостью ϵ_1, ϵ_2 (Рис.3). Если оптические свойства исследуемого материала определяются только свободными носителями (что никогда в точности не выполняется), то оптические постоянные можно вычислить как $n^2 - k^2 = \epsilon_1$; $2nk = \epsilon_2$ [6,7]. Эти параметры вычислены из дисперсионных соотношений Кронига-Краммера и из измеренных



спектральных зависимостей коэффициентов отражения и пропускания. На Рис.3 представлены спектральные зависимости действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости и спектр характеристических электронных потерь $-\text{Im}\epsilon^{-1}(\omega) = \epsilon_2(\omega) / \epsilon_1^2(\omega) + \epsilon_2^2(\omega)$.

Рис.3.

Спектральные зависимости $\epsilon_1, \epsilon_2, -\text{Im} \epsilon^{-1}$. 1 - ϵ_1 ; 2 - ϵ_2 ; 3 - $-\text{Im} \epsilon^{-1}$.

Спектральная зависимость ϵ_1 имеет близкое к нулю значение около 0,062eV. Согласно теории [8], частота, при которой $\epsilon_1 \sim 0$, или, в более общем виде, функция характеристических электронных потерь $-\text{Im}\epsilon^{-1}(\omega)$ имеет максимум, является частотой, соответствующей плазменным колебаниям свободных носителей заряда в зоне проводимости или электронов валентной зоны. Так как электромагнитные волны поперечны, то они не могут возбудить колебаний плазмы. Колебания могут возбуждаться заряженными частицами, проходящими через твердое тело. Характеристические электронные потери действительно были интерпретированы как вызванные возбуждением колебаний плазмы [9]. Спектральная зависимость функции характеристических электронных потерь свободных электронов имеет основной максимум при 0,062эВ

Время жизни плазменных колебаний (τ), рассчитанное из общей ширины спектральной зависимости характеристических электронных потерь $-\text{Im}\epsilon^{-1}(\omega)$ на уровне 0,5 пикового значения, определяется как $\Delta\omega/\omega = 2/\omega_p\tau$ [2]. Время жизни плазменных колебаний, рассчитанных по этой формуле, $\tau = 5,4 \cdot 10^{-13}$ с.

Таким образом, проведенные исследования оптических спектров тонких пленок n-Ag₄STe показали, что за краем фундаментального поглощения существуют сравнимые с ним по величине сильные полосы поглощения, обусловленные мелкими примесями, а также поглощением на свободных носителях с переходами между подуровнями зоны проводимости. Многочисленные узкие полосы свидетельствуют о сложной структуре зоны проводимости.

1. Ш.М.Алекперова, И.А.Ахмедов, Г.С.Гаджиева, *Препринт ИФ АН Азербайджана*, №5 (1982).
2. Ш.М.Алекперова, А.А.Алиев, И.А.Ахмедов, Г.С.Гаджиева, Х.Д.Джалилова, *Тез. Докл. 20 Межд. научно-техн. конф. по Фотозлектронике и приборам ночного видения. М.*, (2008) 198.
3. В.И.Грибковский, *Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. Минск, Наука техника*, (1975).

4. A.Kahan, H.Lipson, *On Determination of the Optical Absorption Coefficient* "Research Reportt Solid State Sciences laboratory, Projekt 5621 (1994).
5. В.И.Фистуль, *Сильно легированные полупроводники*, М. Наука, (1967).
6. В.В.Горбачев, Л.Г.Спицына, *Физика полупроводников и металлов*, М. *Металлургия*, (1976) 180.
7. Я.Тауц, *Оптические свойства полупроводников*. М. Мир, (1967) 75.
8. H.Frohlich, H.Pilzer, *Proc. Phys. Soc.*, **A 68** (1955) 525.
9. D.Pines, *Rev. Mod.Phys.*, **28** (1956) 1184.

FUNDAMENTAL UDULMA KƏNARINDAN SONRA n-Ag₄STe NAZIK TƏBƏQƏLƏRİN OPTİK XASSƏLƏRİ

Ş.M.ƏLƏKBƏROVA, Ə.Ə.ƏLİYEV, X.D.CƏLİLOVA, İ.A.ƏHMƏDOV, G.S.HACIYEV

n-Ag₄STe nazik təbəqələrin optik xassələri 0,044÷0,12eV enerjilər diapazonunda tədqiq edilmişdir. Optic əks etmə spekləri əsasında plazma rezonansı tezliyi $\omega_p=1,27 \cdot 10^{14} s^{-1}$ və elektronların effektiv kütləsi $m_e^*=0,25m_0$ hesablanmışdır. Fundamental udulma kənarından sonra qiymətləri onunla müqaisə edilə bilən xırda aşqarlarda (pik 0,093eV) və keçirici zonanın səviyyələri arasında keçidlərlə bağlı azad elektronlarda (pik 0.062 və 0.05eV) güclü udulma zolaqları aşkar edilmişdir. Azad elektronlarda udulma zolaqlarında çoxsaylı ensiz zolaqlar keçirici zonanın mürəkkəb quruluşa malik olduğunu göstərir.

OPTICAL PROPERTIES OF THE n-Ag₄STe BEHIND EDGE OF THE FUNDAMENTAL ABSORPTION

Sh.M.ALEKPEROVA, A.A.ALIYEV, Kh.D.JALILOVA, İ.A.AKHMEDOV, G.S.GAJIYEV

The investigation of the n-Ag₄STe thin films (0,3÷0,5 micron) optical spectra in the energy range 0,044÷0,12eV have been carried out. By the reflection spectra a plasma resonance frequency $\omega_p=1,27 \cdot 10^{14} s^{-1}$, and effective weight of the electron $m_e^*=0,25m_0$ have been determined. Behind edge of the fundamental absorption have been found comparable by value with it strong absorption strips, caused by shallow impurity (peak at 0,093eV), and also free carriers absorption with transitions between sublevels of the conduction band (peaks at 0,062 and 0,05eV). Numerous narrow strips in the free carriers absorption range, have shown difficult structure of the conduction band.

Редактор: Дж.Абдинов