Uzbek Journal of Physics
Vol.21(№4) 2019 PP.241-244

ВЛИЯНИЕ БОМБАРДИРОВКИ ИОНАМИ Ar^+ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК CdS

Ж.Ш. Содикжанов, Д.А. Мирзаев, М.А. Мирджалилова, Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков

Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан
ftmet@mail.ru
(Получена 06.03.2019)

Ar^+ ионлари билан бомбардировка қилишнинг CdS пленкалари таркиби, энергетик зона параметрлари ва оптик хусусиятларига таъсири ўрганилган. Ar^+ ионларининг кичик дозаларида ($D \le 5\times10^{15}$ см$^{-2}$) пленка юзаси S атомлари билан бойиши, катта дозаларда ($D \ge 5\times10^{15}$ см$^{-2}$) эса Cd атомлари билан бойиши кўрсатилган.

Изучено влияние бомбардировки ионами Ar^+ на состав, зонно-энергетические параметры и оптические свойства пленок CdS. Показано, что при низких дозах ионов Ar^+ ($D \le 5\times10^{15}$ см$^{-2}$) поверхность обогащается атомами S, а при высоких дозах ($D \ge 5\times10^{15}$ см$^{-2}$) атомами Cd.

The influence of the Ar^+ ion bombardment on composition, zone-energy parameters and optical characteristics of the CdS films has been studied. It is shown that under low dose of Ar^+ ions ($D \le 5\times10^{15}$ cm^{-2}) surface is enriched with the S atoms, under the high doses ($D \ge 5\times10^{15}$ cm^{-2}) with the Cd atoms.

Бинарные полупроводники типа CdS, CdTe, ZnS широко используются при создании различных элементов лазеров, фотоприемников, солнечных элементов и имеют перспективы при разработке приборов опто- и наноэлектроники. В настоящее время хорошо изучено влияние лазерного отжига, прогрева, электронной бомбардировки и бомбардировки ионами O_2^+ на оптические свойства пленок CdS [1-8]. В частности, установлено, что наличие некоторого количества кислорода (до $\sim10^{20}$ см^3) приводит к существенному изменению спектра фотолюминесценции и некоторому уменьшению ширины запрещенной зоны E_g пленки CdS. Изучено также влияние бомбардировки ионами Ar^+ и Ba^+ на электронные свойства CdTe [9, 10]. Данная работа посвящена изучению влияния бомбардировки ионами Ar^+ на состав, коэффициент преломления света и ширину запрещенной зоны CdS.

Методика проведения экспериментов. Объектами исследования являются поликристаллические пленки CdS *n*-типа толщиной ~1 мкм, выращенных на поверхности SnO_2 (стекло) методом термического испарения в вакууме $\sim10^{-6}$ мм.рт.ст. [2]. Ионную бомбардировку и напыление атомов осуществляли перпендикулярно к поверхности мишени при вакууме не хуже 10^{-6} Pa. Исследования проводили с использованием методов оже-электронной спектроскопии (ОЭС), фотоэлектронной спектроскопии (ФЭС), дифракции быстрых электронов (ДБЭ) путем измерения зависимости коэффициента пропускания света от энергии фотонов в интервале $h\nu$=0.6–3 эВ. Для уменьшения расхождения и потерь интенсивности проходящего света использованы тонкие пленки CdS.

Профили распределения атомов по глубине определяли методом ОЭС в сочетании с послойным травлением поверхности ионами Ar^+ с E_0=2 keV под углом 5–10° относительно поверхности образца.

Результаты экспериментов и их обсуждение. Перед ионной бомбардировкой пленку CdS обезгаживали прогревом при T = 800 K в сочетании с мягким ионным травлением. При этом поверхностная концентрация Cd составляла ~45–48 ат.%, S ~50–52 ат.%, а кислорода 1–2 ат.%. На рис. 1 приведены зависимости $K(h\nu)$ для CdS, бомбардированного ионами Ar^+ с E_0=1 кэВ разными дозами. В случае чистого CdS зависимость $K(h\nu)$ в интервале $h\nu$ = 0.6–2.2 эВ практически не меняется, в интервале 2.2–2.3 эВ экспоненциальна, а в интервале 2.3–2.4 эВ линейно (резко) уменьшается, приближаясь к нулю. Экстраполяция этой части кривой к оси $h\nu$ дает 2.42 эВ, что, в свою очередь, дает оценочное значение E_g пленки CdS. При бомбардировке ионами Ar^+ с ростом дозы ионов значение K во всей исследуемой области $h\nu$ монотонно уменьшается, значение E_g заметно не меняется, однако интервал энергий $h\nu$ при котором K экспоненциально уменьшается расширяется. Эти изменения можно объяснить следующим образом.

При низких дозах облучения $D = 5\times10^{14}$ см$^{-2}$ ионы Ar^+ попадают на отдельные участки поверхности [10]. Средние размеры этих участков составляют ~10–15 нм, а расстояние между центрами соседних участков ~ 50–60 нм. На этих участках происходит разложение CdS на составляющие и разупорядочение. По-видимому, через эти участки при $h\nu \geq 0.6$ эВ не проходит свет, следовательно, значение K уменьшается. Ионная бомбардировка приводит также к некоторому изменению кристаллической структуры необлученных участков, следовательно, на кривой $K(h\nu)$ экспоненциальная часть увеличивается, а крутизна кривой в спадающей области уменьшается.

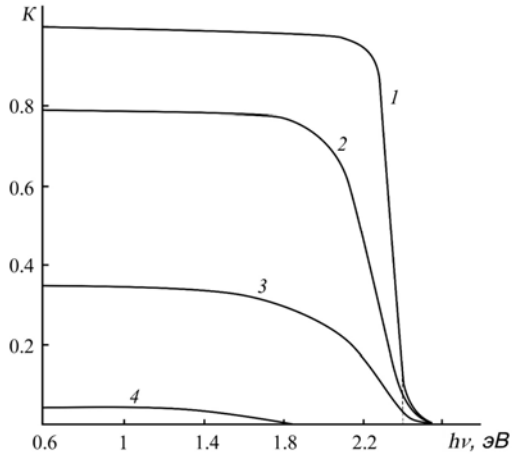


Рис. 1. Зависимости коэффициента пропускания света K от энергии фотонов для CdS, бомбардированного ионами Ar^+ с E_0 = 1 кэВ при дозах D, см$^{-2}$: *1* – 0 (чистый CdS), *2* – 5×10^{14}, *3* – 5×10^{15}, *4* – 6×10^{16}.

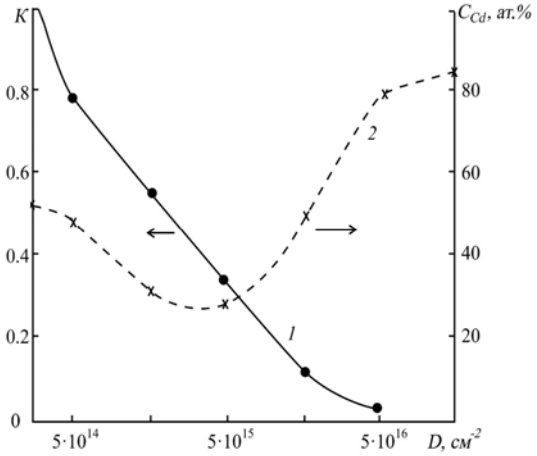


Рис. 2. Зависимости K (кривая *1*) и поверхностной концентрации Cd (кривая *2*) от дозы облучения для CdS, бомбардированного ионами Ar^+ с E_0 = 1 кэВ.

С ростом дозы ионов размеры бомбардированных участков увеличиваются. При $D = 5\times10^{16}$ см$^{-2}$ вся облученная поверхность полностью разупорядочивается, все молекулы CdS в ионно-бомбардированном слое разлагаются. При этом значение K приближается к нулю. Однако из-за ограниченной толщины ионно-бомбардированного слоя и из-за наличия некоторого количества соединений типа Cd+S имеет место прохождение света с малой интенсивностью вплоть до дозы $D = 6\times10^{16}$ см$^{-2}$. Дальнейшее увеличение дозы практически не приводит к изменению состава и структуры зависимости $K(h\nu)$. При этом можно считать, что степень покрытия поверхности слоев CdS нанофазами равна 1. Следовательно, по изменению значения K в зависимости от дозы можно оценить степень покрытия поверхности нанофазами по формуле

$$\theta = 1 - K_{\delta} / K_0,$$

где K_0 – коэффициент пропускания света до бомбардировки, K_δ – после бомбардировки.

Результаты расчета для разных доз представлены на рис. 2 (кривая *1*). Видно, что при $D = 10^{15}$ см$^{-2}$ значение θ составляет 0.4 и при $D = 10^{16}$ см$^{-2}$ 0.8. Таким образом, метод исследования зависимости $K(h\nu)$ является эффективным средством определения E_g, степени разупорядочения поверхности и степени покрытия поверхности нанофазами.

Результаты ОЭС показали, что в процессе ионной бомбардировки на поверхности CdS в основном содержатся атомы Cd и S, однако их относительная концентрация при E_0 = const зависит от дозы ионов (рис. 2, кривая *2*). Из рис. 2 видно, что при бомбардировке CdS ионами Ar^+ зависимость $C_{Cd}(D)$ проходит через минимум при $D = 10^{15}$ см$^{-2}$. В интервале $D = 10^{15}$–8×10^{16} см$^{-2}$ C_{Cd} почти линейно растет от 30 ат.% до 80–85 ат.%, а затем скорость роста замедляется и, начиная с D=5×10^{16} см$^{-2}$, концентрация Cd практически не меняется и устанавливается на уровне 80–85 ат.%. Эти результаты показывают, что при низких дозах ионов Ar^+ после разложения CdS на составляющие атомы S преимущественно диффундируют к поверхности, и поверхность обогащается атомами серы. С ростом дозы ионов усиливается распыление S с поверхности. При дозе $D\geq10^{15}$ см$^{-2}$ концентрация распыленных атомов S будет больше, чем концентрация атомов S, диффундирующих к поверхности. Следовательно, поверхность обогащается атомами Cd.

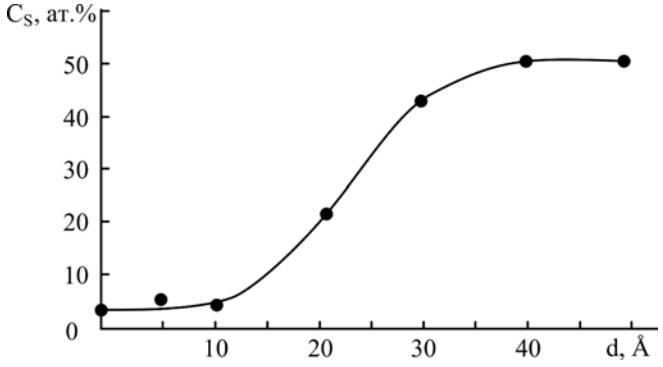


Рис. 3. Профили распределения S по глубине CdS при бомбардировке ионами Ar^+ с E_0 = 1 кэВ и $D = 6\times10^{16}$ см$^{-2}$.

На рис. 3 приведены профили распределения атомов S по глубине для CdS, бомбардированного ионами Ar^+ с E_0 = 1 кэВ при $D = 6\times10^{16}$ см$^{-2}$. Видно, что до глубины d=5–10 Å концентрация S заметно не меняется. В интервале d=10–30 Å зависимость $C_S(d)$ почти линейно растет от 3–5 ат.% до 40–42 ат.%, а при d>35–40 Å практически не меняется и стабилизируется на уровне 45–50 ат.%. Известно, что при бомбардировке бинарных материалов ионами инертных газов более легкие компоненты после разложения частично диффундируют как в сторону поверхности, так и внутрь кристалла. В случае CdS, по-видимому, S в основном диффундирует к поверхности, поэтому в зависимости $C_S(d)$ не наблюдается заметного максимума.

Заключение. Исследования зависимости коэффициента пропускания света пленки CdS при бомбардировке ионами Ar^+ с E_0 = 1 кэВ при разных дозах показали, что с ростом дозы значение K в исследуемой области энергии фотонов ($h\nu$=0.6–3 эВ) монотонно уменьшается. До дозы $D=5\times10^{15}$ см$^{-2}$ ширина запрещенной зоны практически не меняется. Это объясняется тем, что при низких дозах ионов изменяются состав и структура отдельных участков поверхности CdS. При этом состав небомбардированных участков существенно не меняется, следовательно, E_g на этих участках будет близко к E_g пленки CdS. При $D\geq10^{16}$ см$^{-2}$ границы соседних участков начинают перекрывать друг друга и коэффициент прохождения света и E_g резко уменьшаются. Оценены дозные зависимости коэффициента пропускания света и степень покрытия поверхности нанофазами.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. Ворох, С.З. Назарова, Н.С. Кожевникова, ФТТ **54** (6), 1228 (2012).
2. Ж. Жанабергенов, Ш.А. Мирсагатов, С.Ж. Каражанов, Неорган. материалы **41**, 55 (2005).
3. П.Н. Ткачук, ФТТ **42** (11), 1961 (2000).
4. N.K. Morozova, N.D. Danilevich, A.A. Kanakhin, Physica Status Solidi C **7** (6), 1501 (2010).
5. V. Kumar, T.P. Sharma, Optical Materials **10**, 253 (1998).
6. Y.P .Venkata Subbaiah, P. Prathap, K.T.R. Reddy, D. Mangalaraj, K. Kim, J. Yi, J. Phys. D: Appl. Phys **40**, 3683 (2007).
7. П.Н. Крылов, Э.А. Романов, И.В. Федотова, ФТП **45** (1), 127 (2011).
8. Д.М. Седракян, П.Г. Петросян, Л.Н. Григорян, ЖТФ **85** (5), 94 (2015).
9. Y.S. Ergashov, D.A. Tashmukhamedova, F.G. Djurabekova, B.E. Umirzakov, Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics **80** (2), 138 (2016).
10. Z.E. Mukhtarov, Z.A. Isakhanov, B.E. Umirzakov, T. Kodirov, E.S. Ergashev, Technical Physics **60** (12), 1880 (2015).