

Система ДУ решается при соответствующих начальных условиях и для обеспечения незамерзновенности угловых координат необходимо, чтобы значения M_{10} и M_{20} были достаточно велики. Очевидно, достаточное условие для этого имеет вид: $Min\{M_{10}, M_{20}\} > \frac{3}{2} mg \cdot 3l = \frac{9mg\ell}{2}$. В вышеприведенных выражениях предполагалось, что все силы являются силами трения скольжения, т.е. что скорости всех элементов отличны от нуля. В действительности для некоторых элементов в некоторые моменты времени это условие может и не выполняться, но множество таких пространственно-временных элементов имеет меру нуль, так что это обстоятельство на конечных результатах не сказывается. Переход к большему числу звеньев тривиален, и выбор количества звеньев определяется лишь возможностями компьютера.

Заключение

Результаты расчетов при различных значениях параметров системы с помощью CAS Mathematica, анализу детерминистского поведения системы и хаотическому поведению системы при некоторых условиях будут посвящены следующие работы. Аналогичным образом может быть рассмотрено поведение системы при наличии различных типов вязкого трения.

Статья поступила в редакцию 13.03.2007

УДК 621.79

Гриценко П.А., Козлович П.А.

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ФОРСИРОВАННЫХ РЕЖИМАХ

Ведение. Основным условием технического процесса является постоянное повышение производительности труда и совершенствование качества изготавливаемых изделий. При газозащитной сварке достигнуть этого можно благодаря применению высокопроизводительного способа сварки с увеличенным вылетом электродной проволоки, позволяющего добиться снижения трудоемкости процесса сварки, экономии сварочных материалов, повышения качества сварочных соединений. Для этой цели необходима небольшая модернизация сварочного оборудования и изменения технологии сварки.

1. Модернизация сварочного оборудования

Механизм подачи. При сварке с увеличенным вылетом электрода с помощью полуавтомата А-537 максимальная скорость подачи электродной проволоки, на которую рассчитан подающий механизм 598 м/ч, может оказаться недостаточной для сварки на форсированных режимах. В этом случае рекомендуется произвести модернизацию подающего механизма путем увеличения диаметра падающих роликов. Модернизированный подающий механизм сварочного полуавтомата А-537 обеспечивает скорость подачи электродной проволоки до 1030 м/ч, что позволяет производить сварку на форсированных режимах.

В табл. 1 приведены скорости подачи электродной проволоки на каждой ступени до и после модернизации механизма.

Модернизация подающего механизма кроме увеличения скорости подачи электродной проволоки предусматривает ее правку и корректировку направления.

Сварочная горелка. Горелка сварочного полуавтомата – наиболее ответственный узел при сварке увеличенным вылетом электрода. Сущность модернизации сварочной горелки с целью возможности применения ее для сварки с увеличенным вылетом электрода, заключается в решении двух основных задач: обеспечение направления электродной проволоки с

увеличенным вылетом в зону сварки и повышение долговечности и надежности токоподводящего наконечника и газоподводящего сопла.

Направление электродной проволоки при сварке с увеличенным вылетом электрода осуществляется при помощи специального удлинителя. Термостойкий удлинитель также защищает токоподводящий наконечник от термического воздействия дуги. Первые конструкции удлинителя приведены на рис. 1. Дальнейшие разработки узла удлинителя были направлены на повышение надёжности контакта токоподвода с электродной проволокой.

Нарушение электрического контакта часто происходит от неравномерного износа токоподвода и направляющей втулки при их жестком взаимном закреплении. На рис. 2 приведена конструкция удлинителя с плавающим сферическим токоподводом.

Сварка с увеличенным вылетом электрода – высокопроизводительный процесс. Производительность этого процесса значительно выше, чем производительность сварки с нормальным вылетом. Повышенная производительность требует повышения стойкости быстроизнашиваемых деталей сварочного оборудования. Особенно это касается токоподводов и сопел. Токоподводящие элементы горелки при сварке с увеличенным вылетом электрода защищены жаростойкой диэлектрической втулкой. Как показал опыт, срок службы токоподводящего наконечника, защищённого керамической втулкой увеличивается в 3–4 раза.

При выборе материала и конструкции газоподводящего сопла лаборатория сварки УО «МГПУ» одновременно ставила задачу усовершенствования конструкции всей горелки: улучшение условий труда, возможность выполнения сварочных работ в труднодоступных местах. На рис. 3 даны конструкции керамических сопел. Сопло конструкции /а/ крепится

Гриценко П.А., Козлович П.А. Мозырский государственный педагогический университет.

Таблица 1

Ступени	Скорость подачи проволоки, м/ч								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
До модернизации	81	104	136	172	215	283	364	453	568
После модернизации	163	197	259	339	382	480	653	794	1029

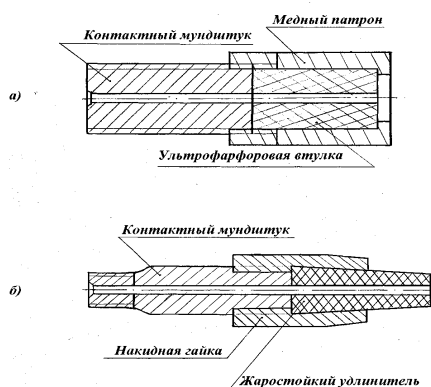


Рис. 1. Удлинитель для сварки подогретым электродом: а) конструкция института электросварки; б) конструкция МГПУ

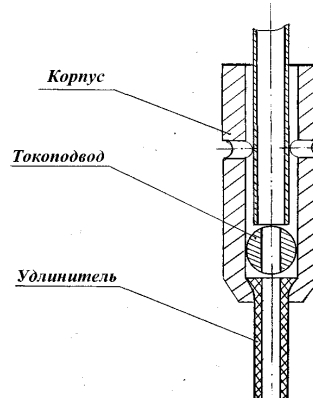


Рис. 2. Конструкция удлинителя со сферическим токоподводом

к горелке при помощи накидной гайки, сопло /б/ имеет на корпусе резьбу для непосредственного крепления к горелке.

На рис. 4 приведена конструкция составного сопла. Керамическая вставка составного сопла служит для предохранения торца и внутренней поверхности сопла от брызг. Металлический корпус сопла может быть изготовлен из меди марки МЗ, алюминиевого сплава марки Д-16 или из борированной стали СтЗ. Для выполнения сварки в труднодоступных местах металлический корпус можно покрыть эмалью.

Модернизированная горелка позволяет осуществлять сварку с увеличенным вылетом электродной проволоки без увеличения ее массы и габаритов.

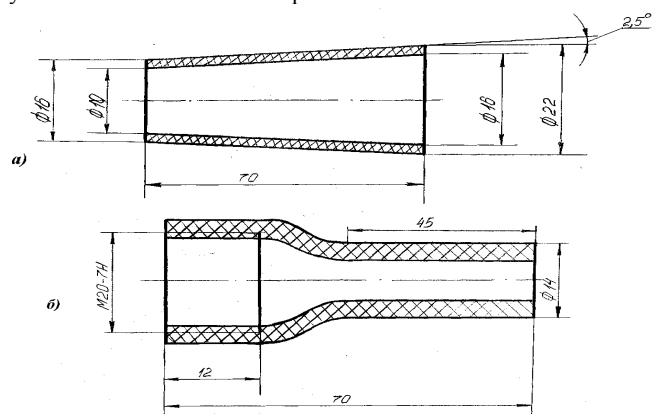


Рис. 3. Конструкции керамических сопел

Источник питания. При сварке от источников питания с жесткой или пологопадающей внешней характеристикой увеличение вылета и падения напряжения на нем приводит к снижению напряжения на дуге. Для повышения напряжения на дуге при сварке с удлиненным вылетом необходимо увеличить напряжение холостого хода источника питания.

Снижение напряжения в сети, питающей выпрямитель, а также уменьшает напряжение на дуге.

В институте электросварки им. Е.О.Патона была проведена работа по модернизации серийного выпрямителя ВС-300 с целью использования его для сварки с увеличенным вылетом на токах до 320 А.

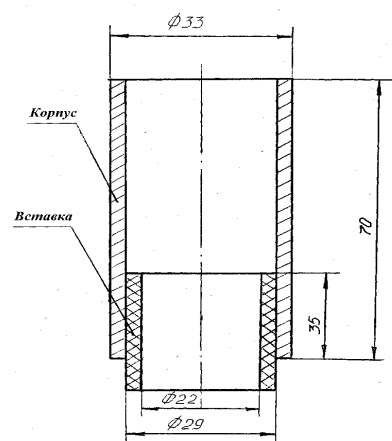


Рис. 4. Конструкция составного сопла

Для модернизации выпрямителя необходимо внести следующие изменения в схему:

- заменить селеновые выпрямители кремниевыми вентилями марки ВК-200 /класс не ниже 2/. Подключить вентили по схеме Ларионова, приведенной в инструкции выпрямителя;
- в каждой катушке вторичной обмотки трансформатора добавить один виток провода этого же сечения.

Модернизированный выпрямитель ВС-300 позволяет выполнять сварку на токе 320 А при напряжении на дуге 37 В и, практически, пригоден для полуавтоматической сварки проволокой $\varnothing 1,2-2,0$ мм.

Аналогично может быть проведена модернизация выпрямителя ВС-500.

Испытания модернизированных узлов сварочного оборудования. Модернизированная горелка, приведенная на рис. 5, имеет меньшую массу, чем существующая стандартная, и более удобная в работе. Стойкость деталей для лабораторных условий работы достаточная. Газовая защита – нормальная. Испытания проводились с керамической и латунной вставкой – направляющей. Керамическая направляющая в работе надежнее. Горелка позволяет производить сварку с величиной вылета до 80 мм.

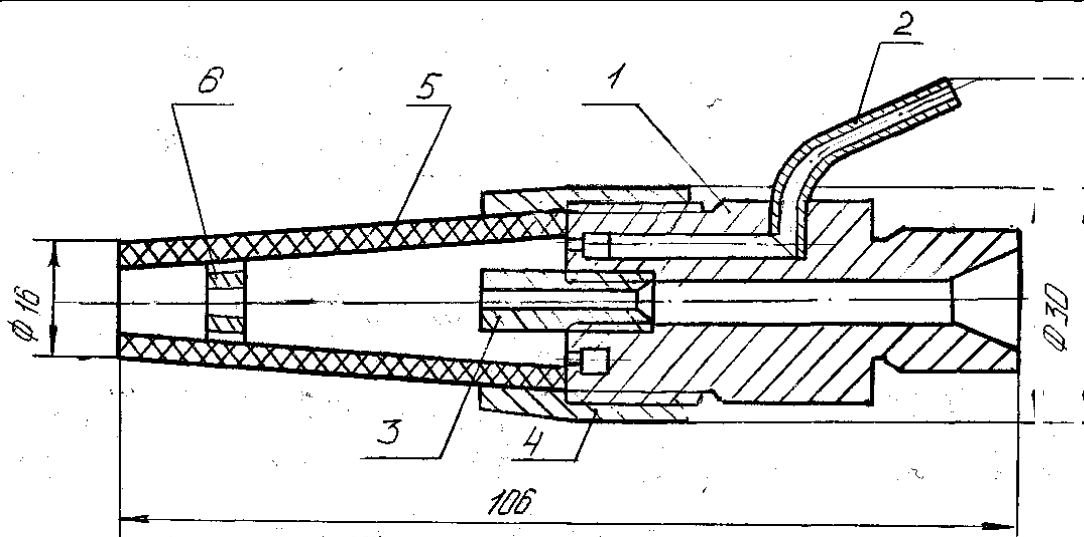


Рис. 5. Модернизированная горелка: 1 – корпус; 2 – газоподвод; 3 – токоподвод; 4 – гайка накидная; 5 – сопло керамическое; 6 – вставка направляющая

При испытании были замечены следующие недоработки конструкции горелки:

А) нарушение соответствия между скоростью подачи проволоки, величиной тока и напряжения приводит к перегибам проволоки, что ведет к прекращению процесса;

Б) для удобства монтажа и демонтажа горелки накидная гайка должна иметь место под ключ.

При разработке горелки для сварки с увеличенным вылетом электрода в труднодоступных местах были учтены и ликвидированы недоработки предыдущей конструкции. Отличительной особенностью этого варианта является крепление керамических деталей /сопла и удлинителя/ при помощи резьбы, предусмотренной на самих деталях, без накидных гаек.

Производственные испытания проведены на Мозырском машиностроительном заводе, Мозырском заводе сельскохозяйственного машиностроения показали, что материал сопел обладает недостаточной механической прочностью для работы в заводских условиях.

Кроме керамических сопел, производилось лабораторное опробование стальных сопел, покрытых жаростойкими эмалями. Сопла испытывались при сварке в углекислом газе на следующих режимах: сварочный ток – 350...380 А; напряженные дуги – 29...33 В; скорость подачи проволоки 550 м/ч.

При сварке происходило интенсивное налипание брызг на торцовую поверхность сопел. В среднем через 3 минуты после начала сварки края сопел покрывались таким слоем брызг, что затрудняло истечение газа, появилась необходимость зачистки сопел. При зачистке нарушалась целостность покрытия сопла.

По результатам проведенной работы был сделан вывод, что наиболее рациональным является составное сопло (рис.4.)

Модернизированный механизм подачи электродной проволоки прошел лабораторные и производственные испытания без принципиальных замечаний.

Лабораторное опробование переделанного выпрямителя ВС-300 показало, что напряжение холостого хода источника питания повысилось на 4В, сила тока на 100А.

2. Обработка техники и технологии сварки с применением модернизированного оборудования

Выбор направления проведения экспериментальных работ. В результате теоретической проработки данных отечественной и зарубежной практики и изучения сварочного производства завода было принято решение исследовать полуав-

томатическую сварку в среде CO₂ с увеличенным вылетом электрода.

За базовый вариант принята полуавтоматическая сварка в CO₂, применяемая в настоящее время с серийно выпускаемым полуавтоматом А-537.

Для определения рациональности предлагаемого способа сварки сравнивались технологические и технико-экономические показатели базового и рекомендуемого вариантов.

Оборудование сварочного поста. Сварочный пост для экспериментальных работ был укомплектован необходимым оборудованием и оснасткой.

Сварка производилась с помощью сварочного полуавтомата А-537. Источником питания сварочной дуги служил сетевой выпрямитель ВС-500. Углекислый газ подавался из баллона. Сварка производилась на сварочном столе, предназначенном для экспериментальных работ, который снабжен местной вытяжной вентиляцией.

Сварочные материалы. Экспериментальные работы производились проволокой Св-08Г2С, Ø1,6 мм. Химический состав проволоки был проверен химической лабораторией и соответствует химическому составу проволоки Св-08Г2С согласно ГОСТ 2246-84.

В качестве защитного газа применялся углекислый газ сварочный 1-го или 2-го сорта по ГОСТ 8050 – 84 с содержанием примесей не более 1,5% в том числе водяных паров – не более 0,515%.

Технология сварки и режимы. При сварке с увеличенным вылетом электрода участок вылета электродной проволоки, ограниченный изолированной направляющей втулкой, называется направленным вылетом. Участок от торца направляющей втулки до поверхности изделия называется свободным вылетом электрода. Общий вылет – это длина проволоки от торца токоподводящего наконечника до изделия.

Величина свободного вылета равна величине вылета электрода при обычной сварке. Рекомендуемая величина свободного вылета в зависимости от диаметра электродной проволоки приведена в табл. 2.

Таблица 2

Диаметр проволоки, мм	1,2	1,6	2,0
Величина свободного вылета, мм	8...15	14...20	15...25

Увеличение вылета электродной проволоки при неизменной скорости подачи приводит к снижению сварочного тока,

Таблица 3

Диаметр электродной проволоки, мм	Величина общего вылета электрода, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Расход защитного газа, л/мин
1,0...1,2	25...30	140...160	26...28	10...12
1,6	45...55	320...350	38...40	14...18
2,0	55...70	420...470	39...42	16...20

Таблица 4

Способ сварки	Глубина проплавления, мм	Ширина шва, мм	Величина усиления, мм
Сварка в CO ₂ с нормальным вылетом	3,40	7,65	1,70
Сварка в CO ₂ с увеличенным вылетом	2,55	7,14	2,55
Сварка в смеси CO ₂ +O ₂ с нормальным вылетом	3,40	8,16	1,70
Сварка в смеси CO ₂ +O ₂ с увеличенным вылетом	2,89	7,65	2,55

Таблица 5

Способ сварки	σ_b , Мпа /кгс/ мм ² /	σ_t , Мпа /кгс/ мм ² /	δ_s , %	ψ , %	Ударная вязкость Дж /м ² / кгм/см ² /, при температуре	
					+20°C	-20°C
Сварка в CO ₂ с нормальным вылетом электродной проволоки	538 /53,8/	382 /38,2/	31,7	60,2	141.10 ⁴ /14,1/	86.10 /8,6/
Сварка в CO ₂ с увеличенным вылетом	577 /57,7/	409 /40,9/	32,4	64,2	150.10 ⁴ /15,0/	114.10 /11,4/
Сварка в смеси CO ₂ +O ₂ с нормальным вылетом	500 /50,0/	869 /36,9/	33,4	62,8	137.10 ⁴ /13,7/	92.10 /9,2/
Сварка в смеси CO ₂ +O ₂ с увеличенным вылетом	513 /51,3/	377 /37,7/	33,2	67,9	162.10 ⁴ /16,2/	101.10 /10,10/
Основной металл /Ст3/	380 /38,0/	240 /24,0/	26,0	–	80.10 ⁴ /8,0/	30.10 /3,0/

так как часть энергии расходуется на разогрев проволоки на участке вылета. Это уменьшает провар свариваемых кромок. Для обеспечения надежного провара необходимо было повысить сварочный ток, что достигается увеличением скорости подачи проволоки и, следовательно, производительности процесса сварки.

Величина сварочного тока при переходе на сварку с увеличенным вылетом должна быть равна величине сварочного тока при сварке с нормальным вылетом.

При сварке с увеличенным вылетом электрода значительно возрастает падение напряжения на дуге. Так, при сварке проволокой св-08Г2С диаметром 1,6 мм с вылетом 60 мм падение напряжения на вылете составляет 3,7...4,1В, а при сварке с обычным вылетом – 0,8...1,0В. Поэтому при переходе на сварку с увеличенным вылетом необходимо повысить напряжение холостого хода.

Величина вылета при сварке выбирается в зависимости от типа источника питания и геометрических размеров шва.

С увеличением вылета изменяется перенос металла в дуге, что способствует уменьшению разбрызгивания в 5...8 раз и снижению трудоемкости зачистки конструкций от брызг.

Оптимальные параметры режимов сварки приведены в табл. 3.

3. Исследование сварного соединения и сравнение результатов

Внешнему осмотру подвергались стыковые и тавровые соединения, выполненные сваркой:

- в CO₂ с нормальным вылетом электродной проволоки;
- в CO₂ с увеличенным вылетом электродной проволоки;
- в смеси CO₂ + O₂ с нормальным вылетом электродной проволоки;

- в смеси CO₂ + O₂ с увеличенным вылетом электродной проволоки.

При внешнем осмотре образцов, выполненных всеми исследуемыми способами сварки, видимых дефектов не обнаружено.

Самым качественным оказался сварной шов, выполненный в смеси CO₂ + O₂ с увеличенным вылетом электродной проволоки. Он отличается хорошей формой, ровной поверхностью. Кроме того, при этом способе наблюдается наименьшее разбрызгивание электродного металла в процессе сварки.

Исследование изменения параметров формы шва. В лаборатории сварки было проведено исследование изменения параметров формы шва в зависимости от применяемого способа сварки.

Для проведения исследования каждым способом сварки на пластину толщиной 8 мм наплавлялся валик при оптимальных режимах, с постоянной для всех случаев силой тока. Вырезка образцов для исследования проводилась на расстоянии 200мм от места начала сварки. Замеры конструктивных элементов шва производились с применением микроскопа МИМ – 8. Результаты исследований приведены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, в зависимости от применяемого способа сварки изменяются параметры формы шва. Сварка с увеличенным вылетом электрода способствует уменьшению глубины проплавления и увеличению шва. Применение в качестве защитного газа смеси CO₂+O₂ приводит к значительному увеличению ширины шва и некоторому увеличению глубины проплавления при увеличенном вылете электродной проволоки.

Механические испытания. В комплекс механических испытаний входили испытания на статическое растяжение наплавленного металла и испытания на ударную вязкость металла шва.

Таблица 6

Способ сварки	Скорость сварки м/ч	Отношение к базовому варианту	Производительность процесса	Отношение к базовому варианту
Сварка в CO ₂ с нормальным вылетом электрода /базовый/	30	1,00	5,1	1,00
То же с увеличенным вылетом электрода	37	1,20	6,0	1,17
Сварка в смеси CO ₂ +O ₂ с нормальным вылетом электрода	36	1,20	6,4	1,25
То же с увеличенным вылетом электрода	45	1,50	7,7	1,50

Испытание на статическое растяжение проведено в соответствии с ГОСТ 6996-84, а испытания на ударную вязкость в соответствии с ГОСТ 9454-88.

Результаты испытаний приведены в табл. 5. Для сравнения предложены данные для Ст3 ГОСТ 380-88.

Как видно из таблицы 6, полуавтоматическая сварка с увеличенным вылетом электродной проволоки гарантирует получение сварного соединения, не уступающего по своим пластическим свойствам соединениям, выполненным сваркой в среде CO₂ с нормальным вылетом, применяемой на заводе.

4. Техно-экономические исследования

Техно-экономические исследования проводились для четырех способов полуавтоматической газозлектрической сварки:

- сварка в углекислом газе с нормальным вылетом электрода /базовый/;
- сварка в смеси газов CO₂+O₂ с нормальным вылетом электрода;
- сварка в углекислом газе с увеличенным вылетом электрода;
- сварка в смеси CO₂+O₂ с увеличенным вылетом электрода.

Для сравнения техно-экономических показателей каждого исследуемого способа определялись производительность процесса и скорость сварки каждого способа.

Техно-экономические показатели каждого исследуемого способа, а также их отношения к одноименным показателям базового варианта приведены в табл. 6.

УДК 535

Кушнер Т.Л., Чугунов С.В.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВ CuIn₃Se₅, CuGa₃Se₅ И CuGa₅Se₈

Введение

Оптические свойства тройных полупроводниковых соединений CuIn₃Se₅, CuGa₃Se₅ и CuGa₅Se₈ изучены достаточно слабо. Наличие прямых межзонных переходов с энергией от 1,0 эВ (для CuIn₃Se₅) до 1,9 эВ (для CuGa₅Se₈) при комнатной температуре делает эти материалы перспективными для создания на их основе ряда оптоэлектронных приборов: высокоэффективных, дешевых и радиационноустойчивых преобразователей солнечной энергии, ИК детекторов, оптических фильтров, светоизлучающих диодов и других устройств. Однако практическая реализация этой идеи затруднена, что обусловлено рядом факторов. Одним из них, и самым главным, является то, что до сих пор не решена проблема выращивания больших гомогенных и оптически однородных монокристаллов этого класса [1,2].

По данным табл. 6 видно, что все исследуемые способы сварки наиболее производительны, чем базовый. Скорость сварки при увеличенном вылете в углекислом газе больше, чем при нормальном на 20%, а для сварки в газовой смеси CO₂+O₂ с увеличенным вылетом электрода превышает этот показатель базового варианта на 50%.

Заключение

Произведенная модернизация сварочного оборудования позволила производить газозлектрическую сварку на повышенных режимах с увеличением скорости подачи электродной проволоки. В результате экспериментальных исследований определены оптимальные режимы, дающие качественный и ровный шов.

Проведенные испытания полуавтоматической сварки с увеличенным вылетом электродной проволоки на форсированных режимах подтвердили получение сварочного соединения, не уступающего по своим пластическим свойствам соединениям, выполненным в CO₂ с нормальным вылетом.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лупачев В.Г. Сварочные работы: Учебное пособие: — Мн.: Выш. шк., 1998. — 320 с.
2. Сварка и свариваемые материалы. Справочник в 3-х т. Под ред. Э.Л. Макарова. — М.: Металлургия, 1993.
3. Шебеко Л.П. Оборудование и технология автоматической и полуавтоматической сварки. — М.: Высш. школа, 1986. — 394 с.

Статья поступила в редакцию 06.12.2006

Обзор литературы

В работе [3] исследованы спектры поглощения поликристаллических образцов CuIn₃Se₅ в интервале температур 10–300, полученных горизонтальным методом Бриджмена. Ширину запрещенной зоны (E_g) определяли экстраполяцией прямолинейного участка зависимости $(\alpha h\nu)^2$ от $h\nu$. При 300 К ширина запрещенной зоны составила $E_g = 1,28$ эВ. При исследовании фотолюминесценции в температурном интервале 10–100 К обнаружено преимущественно широкополосное излучение. Для двух образцов максимумы излучения равны 1,028 эВ и 1,035 эВ, что значительно меньше, чем E_g и связаны, по-видимому, с рекомбинацией донор-акцептор.

Оптические свойства пленок CuIn₃Se₅ с различным содержанием индия при комнатной температуре изучены в работе [4]. Наряду со спектром пропускания тонких пленок

Кушнер Татьяна Леонидовна, старший преподаватель кафедры физики БрГТУ.

Чугунов Сергей Владимирович, ассистент кафедры физики БрГТУ.

Беларусь, Брестский государственный технический университет, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.