

ПРОИЗВОДСТВО ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДАТЧИКОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ СВАРКОЙ

Н. Н. ХОМЕНКО, д-р техн. наук (Черниг. гос. технол. ун-т)

Рассмотрены вопросы электрохимической сварки кремния со сталями применительно к узлам преобразователей давления и др. Показаны области использования датчиков, их конструктивные и технологические особенности. Представлены данные о сварочном оборудовании и пути его совершенствования.

Ключевые слова: электрохимическая сварка в твердой фазе, свариваемые узлы и материалы, сварочное оборудование, сборочно-сварочная оснастка

Стремительное развитие электронной и вычислительной техники явилось предпосылкой для широкого внедрения автоматизации и контроля самых разнообразных процессов в промышленности, медицине, научных исследованиях и быту. Однако реализация этой предпосылки в значительной мере определяется возможностями устройств для получения информации о регулируемом или контролируемом параметре или процессе. К таким устройствам относятся первичные преобразователи неэлектрических величин, в которых используются пьезо- и тензорезистивный или емкостный эффекты. С ростом автоматизации к датчикам стали предъявлять все более высокие требования. При этом особое значение придается следующим показателям: миниатюрности (возможности встраивания или ввода), дешевизне (при серийном производстве), механической прочности и герметичности. Датчиками можно пользоваться для любых измерений статического и динамического давления газов и жидкостей. Особенно удобны они в тех случаях, когда, наряду с индикацией, желательна или необходима запись типа и/или обработка сигнала. Эти измерительные устройства ныне широко используются в различных областях техники: в океанографии для измерения глубины и волнового давления океана; в машиностроении для трибологических измерений и контроля давления масла в крупногабаритных подшипниках скольжения; в производственных процессах для регистрации давления и измерения уровня жидкости; в гидравлике и пневматике для контроля и регулирования давления в гидросистемах тормозов и железнодорожного подвижного состава; в автомобилестроении для измерения давления в топливных насосах, системах двигателей внутреннего сгорания и тормозных системах; в ракетной технике для измерения давления в топливных баках ракет; в авиационной промышленности для измерения давления в гидравлических системах и в качестве вариометров; в механике грунтов для измерения давления грунтовых вод и исследования устойчивости пластичных грунтов. Дат-

чики применяются в бытовой технике, а также в медицине для исследования гемодинамики глаза и прилегающих отделов головного мозга, диагностики скоростных характеристик прохождения пульсовых волн во время сердечного цикла, объемных измерений кровообращения и др. Использование того или иного датчика в этих областях определяется прежде всего отношением его цены к эффективности. При промышленном применении указанных устройств определяющим фактором является погрешность измерений, которая при регулировании процессов должна составлять 1...2, а для задач контроля — 2...3%. Соотношение цен датчиков общего и специального назначения составляет 1:100...1:1000.

Создание датчиков стало возможным при использовании нетрадиционных материалов (полупроводниковые материалы, стекла, сплавы, керамика, металлические сплавы), а также современных планарных микротехнологий и новых методов сварки, к которым и относится электрохимическая сварка (ЭХС) в твердой фазе (рис. 1) [1].

Преимущества этого метода сварки заключаются в следующем:

- возможности непосредственного соединения металла или полупроводника со стеклом или с ситаллом без применения дорогостоящих дефицитных припоев на основе золота, индия, серебра и т. д.;
- соединении материалов при температурах, более низких, чем температура пайки твердыми припоями;
- соединении материалов в любых средах, включая и воздух;
- эксплуатации узлов при температурах, приближающихся к температуре сварки;
- ограничении времени сварки до нескольких минут;
- отсутствии необходимости создавать высокие удельные усилия сжатия;

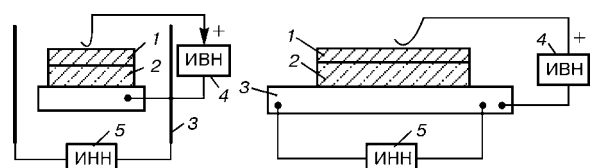


Рис. 1. Принципиальные схемы ЭХС: 1 — стекло; 2 — кремний (металл); 3 — нагреватель; 4, 5 — источники сварочного напряжения соответственно низкого и высокого

Хоменко Николай Николаевич — профессор, зав. кафедрой сварочного производства.

© Н. Н. Хоменко, 2001

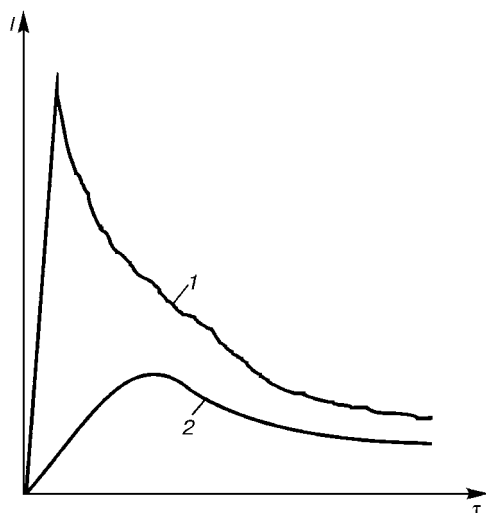


Рис. 2. Жесткий (1) и мягкий (2) режимы ЭХС

возможности получать надежные, равнопрочные и герметичные соединения.

В последнее время ЭХС получила распространение и при изготовлении плоских интегральных схем, газоразрядных приборов и других устройств.

Важным элементом неразъемного узла датчика является мембрана, изготовленная из полупроводникового кремния, на одной из поверхностей которой создается методом планарной технологии тензорезистивный мост или обкладка конденсатора. В Украине и ближнем зарубежье разработчики датчиков в конструкции узлов закладывают полупроводниковые элементы с геометрическими размерами не менее 3...4 мм, что упрощает систему сборки узлов и конструкцию токоподводящих устройств. Миниатюризация датчиков, которая является одним из требований при их использовании в биомедицинских исследованиях, потребовала некоторой перестройки в системах проектирования сборочно-сварочной оснастки, особенно при создании токоподводя-

щих и нагревательных устройств, корректировки режимов сварки. Так, для габаритных узлов применим жесткий режим сварки, при котором сначала сборочный узел нагревается до требуемой температуры, а затем подается сварочное напряжение. Для миниатюрных узлов необходим мягкий режим, при котором нагрев деталей до требуемой температуры проводится при включенном сварочном напряжении (рис. 2). Кроме того, для миниатюрных узлов необходимо применять меньшие сварочные напряжения, на порядок отличающиеся от напряжений жесткого режима, или их плавное повышение синхронно со снижением сварочных токов.

С помощью ЭХС можно соединять различные материалы. В таблице приведены пары свариваемых материалов, которые широко используются в конструкциях узлов датчиков разного применения, и режимы их сварки.

Развитие технологии, производство сварных узлов невозможно без сварочного оборудования и оснастки. Это оборудование наряду с основными качествами должно иметь высокую производительность, а операция его сборки должна быть нетрудоемкой, выполняться с требуемой точностью, обеспечивать возможность вакуумирования замкнутых полостей узлов и их равномерный нагрев. Вопрос трудоемкости сборочного процесса в общем решен за счет использования сменных сварочных приспособлений и сборочных кондукторов. Вопрос производительности связан с техникой нагрева [2]. Здесь наибольшую сложность представляет равномерность нагрева узлов. Температуру можно контролировать лишь контактным методом с ограниченным количеством термопар, а ее регулирование и поддержание практически можно осуществлять одним прибором.

Установки для ЭХС разнородных материалов наша промышленность не выпускает, а работающие на ряде предприятий изготовлены нами по индивидуальному заказу. Они имеют общую компоновку



Рис. 3. Блок-схема сварочной установки для ЭХС

Перечень свариваемых материалов и режимы их сварки

Материал	Марка стекла	i , мкА/мм ²	τ , мин	T , °С
Ковар (29НК)	C48-1, C48-2, C52-1	10...30	10	500
Молибден	C48-1, C48-2, C52-1	10...30	10	500
Титан	C72-4	25	5	400
Тантал	C72-4, C93-1	25	5	400
Кремний	Пирекс, ЛК-105, C35-1, C37-2	10...40	0,5...10	300...450
Германий	C48-1, C48-2, C52-1	3	2	450
Алюминий (пленка)	Кварц, C48-1, C48-2, C52-1, C93-1, C93-2, C90-1	1	1...10	400...500
Нихром	C35-1, C47-1	1	1...10	400...500
Кварц через Al, Si	Кварц	10	1...5	850
Кремний	Сапфир	1	1	450
Арсенид галлия	C52-1, C48-2	25	5...10	450
Палладий	Фарфор	100	5	400
Платина	C52-1, C48-1, C48-2	5	7	400
Кремний	Кварц	10...25	1...20	400...900

в соответствии с блок-схемой, представленной на рис. 3 (блоки в штриховой рамке применяются при необходимости). Основой всех установок является сварочный блок, характеризующийся высокой производительностью, возможностью сварки в атмосфере воздуха и вакууме, универсальностью по конструктивным особенностям свариваемых узлов и методу нагрева. Сварочный блок запитывают высоковольтным сварочным напряжением постоянно от специального блока питания, который снабжен системой контроля, регистрации и управления. Нагрев деталей осуществляют низковольтными нагревателями. В состав блока нагрева, кроме трансформатора, входит система контроля, регистрации и управления этим процессом. Установки специализированного назначения имеют вакуумные системы, включающие откачной пост и систему контроля и управления [3]. Большинство установок имеют отдельные сборочно-сварочные устройства, позволяющие производить ручную сборку узлов вне камеры установки. Все установки имеют ручную систему загрузки и выгрузки деталей или сборочно-сварочных устройств, а некоторые снабжены автоматической системой управления процессом сварки.

Все возрастающая потребность промышленности в датчиках первичной информации требует решения вопроса организации их выпуска. На первых порах с учетом наметившихся тенденций следует наладить производство установок с многопозиционными сборочно-сварочными приспособлениями. Однако здесь возникают два отрицательных фактора: трудоемкость сборки и невозможность управления и контроля процессом сварки. В последнее время предпринимаются попытки сварки нераздельных на кристаллы (модули) кремниевых пластин со стеклом [4]. Такая технология резко повышает производительность, но одновременно возникает проблема разделения этой сборки: нужны методы

резки, которые давали бы качественную поверхность реза без сколов и трещин. В перспективе необходимо разработать автоматические и полуавтоматические сварочные установки с индивидуальной сваркой узла, особенно это относится к полупроводниковым датчикам и другим полупроводниковым приборам. Полную автоматизацию процесса сварки с применением метода распознавания топологии кристалла можно осуществить детектированием с помощью промышленной телекамеры топологии контактных площадок или реперных меток на кристаллах с последующим сравнением изготавливаемой схемы со стандартной, введенной в ЭВМ. При этом для детектирования можно использовать фотоприемные устройства. Одновременно необходимо разработать систему подачи собранного узла в прижатом состоянии в зону нагрева под сварочный электрод.

В заключение следует отметить, что ЭХС в твердой фазе является прогрессивным и наиболее приемлемым методом получения прецизионных неразъемных узлов, включающих стекла, полупроводниковые материалы и металлы, в современных приборах управления и контроля, бытовой технике, медицине.

1. Хоменко Н. Н. Научные и технологические основы электрохимической сварки в твердой фазе кристаллических материалов с полупроводящими стеклами: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1997. — 43 с.
2. Хоменко Н. Н., Мосеев О. А. Нагрев и нагревательные устройства установок для сварки в электрическом поле // Автомат. сварка. — 1991. — № 8. — С. 52–54.
3. Хоменко Н. Н., Величко Н. А., Барбаш С. В. Управление и контроль процессом сварки в электрическом поле узлов датчиков // Приборы и системы управления. — 1993. — № 1. — С. 30–31.
4. Хоменко Н. Н. Технология и материалы при производстве крупногабаритных узлов-заготовок датчиков давления // Автомат. сварка. — 1996. — № 6. — С. 31–34.

Issues associated with electrochemical welding of silicon to steels for making units of pressure transducers and other assemblies are considered. Fields of applications of the transducers and their design and technological peculiarities are described. Data on welding equipment and ways of its upgrading are presented.

Поступила в редакцию 10.04.2001,
в окончательном варианте 01.06.2001