

УДК 621.382.049.77; 621.794.61

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАТ СО ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМОЙ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ В ПОДЛОЖКАХ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Г.В. ЛИТВИНОВИЧ, Д.Л. ШИМАНОВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 3 сентября 2012

Изложен результат исследований создания системы межсоединений в процессе формирования подложки анодного оксида алюминия. Варьируя параметрами процесса анодирования и последовательностью технологических операций можно одновременно формировать подложку Al_2O_3 и систему межсоединений в ее объеме с выводом на поверхность контактных площадок. Толщина подложки анодного Al_2O_3 , расположение системы межсоединений в ее объеме, размеры проводящих дорожек и площадок задаются в методике изготовления конкретной платы. С помощью внешних выводов к этой системе межсоединений можно подсоединить навесные или формируемые в дальнейшем на поверхности подложки элементы микросхемы.

Ключевые слова: алюминий, анодирование, алюмооксидная технология, анодный оксид алюминия, подложка анодного Al_2O_3 , система межсоединений, контактные площадки, внешние выводы, коммутационные платы.

Введение

В перспективных технологиях производства радиоэлектронных блоков на печатных платах [1] наблюдается следующая тенденция: используемые в ответственной радиоэлектронной аппаратуре функциональные радиоэлектронные блоки не подлежат ремонту и они относятся к элементной базе. В производстве же этих функциональных электронных блоков применяются микроэлектронные технологии, к примеру, осуществляется внутренний монтаж кристаллов с интегральными схемами в тело подложки данного блока. Этим устраняются внутренние паразитные явления индуктивной и емкостной природы, обеспечивается планаризация токоведущих топологий блока и кристаллов, увеличивается быстродействие блока и уменьшается его чувствительность к внешним несанкционированным электромагнитным воздействиям. Сразу же отметим, что внутренний монтаж кристаллов предполагает и монтаж пассивных элементов на поверхности печатной платы.

Известно, что в ЗАО «Центр перспективных технологий и аппаратуры» (Россия) ведется одно из развивающихся направлений – изготовление печатных плат с алюминиевым теплоотводом. Технологический процесс, в общем, аналогичен процессу изготовления односторонней печатной платы на стеклотекстолите, но из-за различия физических и химических свойств алюминия и стеклотекстолита имеются и некоторые отличия: алюминий химически активный металл, взаимодействующий с кислотами и щелочами; он обладает высокой теплопроводностью и его свойства отличаются от свойств стеклотекстолита при механической обработке. На рис. 1 представлена структура материала на алюминиевом основании и фрагмент односторонней печатной платы.

Дополнительно отмечается, что алюминий достаточно стоек в аммиачно-сульфатном растворе при травлении фольги, а также кислотном растворе при защите его фоторезистом или химически стойкими красками. Фоторезист легко удаляется в растворе аммиака при концен-

трации 1:3 или растворах на основе органических аминов. Использование растворов едких щелочей является нежелательным ввиду сильного растворения в них алюминия.

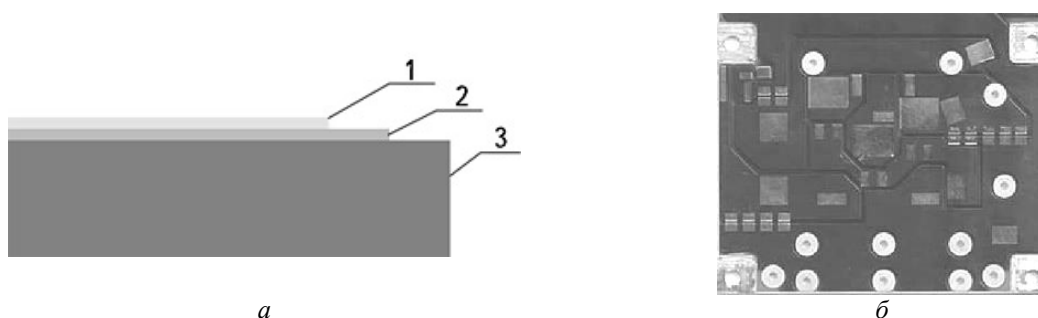


Рис. 1. Структура материала на алюминиевом основании (а) и фрагмент односторонней печатной платы (б): 1 – фольга; 2 – диэлектрик; 3 – алюминиевое основание

Платы на алюминиевом основании могут быть затребованы в ближайшее время и найдут свое практическое применение, например, в производстве светодиодных осветительных систем. Следует заметить, что такие работы отнесены к приоритетным направлениям государственной политики.

Укажем на то, что компанией Micro Components Ltd запатентована технология изготовления многослойных алюмооксидных подложек для изделий микроэлектроники, получившая название ALOX [2]. На рис. 2 представлено сечение трехслойной алюмооксидной подложки, выполненной по технологии ALOX. Как утверждают авторы, основные преимущества их подложек в том, что им характерны требуемые тепловые характеристики, благодаря наличию внутреннего алюминиевого теплоотводящего слоя; низкая индуктивность переходных отверстий; высокая плотность межсоединений (ширина проводника/зазора 25 мкм); возможность встраивания пассивных компонентов. Из-за отсутствия операций сверления и металлизации отверстий производственные издержки здесь существенно ниже, чем при изготовлении аналогичных конструкций на традиционных печатных платах.

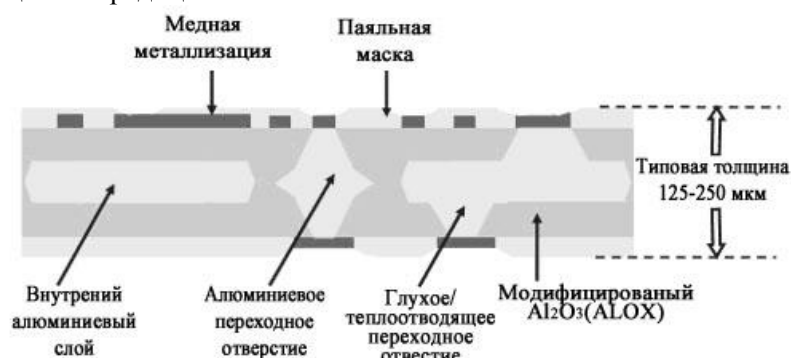


Рис.2. Сечение трехслойной алюмооксидной подложки, выполненной по технологии ALOX

Компания Optek разработала эффективную технологию отвода тепла Anotherm на основе алюминиевых подложек и радиаторов для автомобильной светотехники [3]. Вместо теплоотвода, где алюминиевая подложка покрывается слоем диэлектрика, на котором формируются металлические выводы и контактные площадки, в технологии Anotherm используется алюминиевая подложка–радиатор с плотным 50-микронным слоем анодного оксида алюминия. На поверхности этого диэлектрического слоя формируются серебряные контакты, осуществляется пайка светодиодов и т.д. Подобная схема исключает важнейшую составляющую теплового сопротивления – диэлектрическую подложку, в результате чего достигается рекордно малое тепловое сопротивление, а отвод тепла протекает значительно эффективней. То есть, в технологии Anotherm сокращается число переходов, а именно, переход основание/подложка и подложка/радиатор, а остается лишь небольшое тепловое сопротивление перехода основание/подложка.

Изложенная выше технология получила свое развитие и продолжает совершенствоваться в БГУИР [4–6]. В данной работе нам представляется целесообразным более широко рас-

крыть возможности изготовления коммутационных плат с использованием подложек анодного оксида алюминия на базе выполненных нами исследований.

Результаты и их обсуждение

Работа по формированию системы электропроводящих межсоединений в свободных пластинах анодного оксида алюминия является продолжением ранее начатых исследований [7–9] по использованию подложек Al_2O_3 при создании гибридных интегральных микросхем. Вначале рассмотрена принципиальная возможность получения системы межсоединений в объеме свободного анодного оксида алюминия в процессе электрохимического окисления металла, т.е. анодирования.

Исходным материалом при решении поставленной задачи служила алюминиевая фольга (А 99,99) толщиной 150 мкм и размером 60×60 мм с поверхностью 12–13 класса чистоты. Процесс анодирования осуществлялся в специально изготовленной электрохимической ячейке при постоянном потенциале на электродах равном 60 В (потенциостатический режим) и поддерживаемой температуре электролита в интервале 12,5–13,5 °С. В качестве электролита использовался 5%-ный водный раствор щавелевой кислоты. Для маскирования применялся фоторезист, который при необходимости устранялся в диметилформамиде. После всех электрохимических или химических обработок образцы тщательно промывались в дистиллированной воде и подвергались сушке при 110–120 °С продолжительностью 30 мин. На рис. 3 изображен внешний вид формируемой системы межсоединений в объеме анодного оксида алюминия и приведена последовательность технологических операций ее получения. После нанесения маскирующего покрытия на обратную сторону исходного образца из алюминиевой фольги, а также рамку и выводы с лицевой его части (рис. 3, б; маскированием исключается всегда участок подвода потенциала) следовал процесс анодирования в течение 8 ч. Толщина сформированного оксида алюминия на лицевой стороне Al фольги (рис. 3, в) составляла ~ 100 мкм. Прервав процесс анодирования, осуществляется дополнительное маскирование дорожек и площадок с лицевой стороны образца (рис. 3, г). Образец затем вновь помещается в электрохимическую ячейку для последующего сквозного анодирования (рис. 3, д). По завершению процесса с проанодированного насквозь участка на обратной стороне образца удаляется маскирующее покрытие. Это делается для удаления оставшихся островков непроанодированного алюминия путем химического травления. Для травления использовался раствор соляной кислоты с добавкой хлорида меди. Измеренная толщина всего оксида алюминия равнялась ~ 220 мкм. Далее маскированию подвергаются лицевая и обратная стороны, на последней исключаются проводящие дорожки и площадки, и вновь выполняется процесс анодирования длительностью 3 часа (рис. 3, ж). Образовавшийся слой Al_2O_3 на обратной стороне над дорожками и площадками имеет толщину 35–40 мкм. Толщина самого алюминия в сформированных проводящих дорожках и площадках составляет ~ 50 мкм. На этом процесс формирования системы межсоединений в подложках анодного оксида алюминия заканчивается и с ее поверхностей удаляется маскирующее покрытие (рис. 3, з). После выполнения указанных выше технологических операций образец отжигался в печи при температуре 250 °С под нагрузкой продолжительностью 30 мин с последующим медленным охлаждением вместе с печью, с целью увеличения плоскостности и стабилизации структуры.

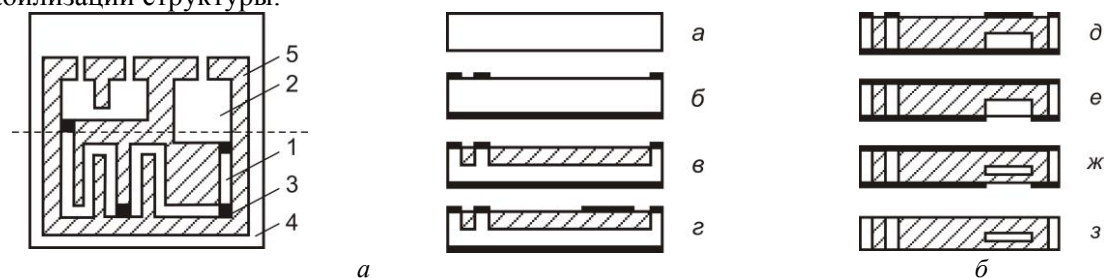


Рис. 3. Внешний вид формируемой системы межсоединений в объеме анодного оксида алюминия (а) и последовательность технологических операций ее получения (б):

1, 2 – проводящие дорожки и площадки в оксиде Al; 3 – внешние выводы на обе стороны Al подложки; 4 – Al рамка по периметру всего образца; 5 – анодный окид алюминия

Остановимся на наиболее важных результатах проведенных исследований. Было замечено, когда в процессе анодирования формируется рисунок микросхемы, то на обратной стороне образца на его Al слое выявляется четкий ее отпечаток. Это может служить экспериментальным подтверждением о встречных миграционных явлениях, протекающих на границе металл-оксид. При выполнении работы легко можно варьировать целым рядом параметров, таких как толщина Al фольги, продолжительность стадий анодирования (рис.3, б, ж) и т.д., что дает возможность получать подложки анодного Al_2O_3 заданной толщины со сформированной в их объеме системой межсоединений на любой глубине. Кроме того, варьированием управляемыми параметрами задается необходимая толщина алюминиевых проводящих дорожек и площадок. С помощью внешних выводов на одну или обе стороны оксидной Al_2O_3 подложки можно подсоединять к встроенной в объем системы межсоединений различные навесные и формируемые на ее поверхностях элементы гибридной интегральной микросхемы. Использование шаблонов и фотолитографии, соответственно, упрощает и ускоряет изготовление создаваемых изделий. Их получение имеет, как нам кажется, научный и практический интерес.

В проведенных ранее исследованиях [10] учитывалось, что коммутационные платы находят применение при изготовлении вычислительных систем, устройств цифровой обработки сигналов, гибридных интегральных схем. Изготовление их по толсто пленочной технологии на керамических подложках является довольно трудоемким в реализации, требует применения прецизионных паст и проведения ряда высокотемпературных обработок. Важнейшим элементом изготовления таких плат является выбранная в соответствии с топологией межкомпонентных соединений и контактных площадок методика их создания. Из анализа возможностей алюмооксидной технологии и выполненных нами исследований сделан вывод, что путем применения в определенном сочетании процессов фоторезистивного маскирования, химического травления микрорельефа и двухстороннего сквозного анодирования можно получить встроенные в оксиде алюминия проводники, которые будут являться одним уровнем разводок в теле платы.

Была разработана методика изготовления оксидных плат со встроенными проводниками, которая заключается в том, что вначале на алюминиевую пластину наносятся фоторезистивные маски проводников и контактных площадок. Затем открытые места анодируются на небольшую толщину, стравливается выращенный оксид, снимается маска с мест проводников и осуществляется двухстороннее сквозное анодирование. Так как толщина алюминия в местах будущих проводников и на периферии разная, то более тонкие участки проанодируются полностью, а на других участках анодирование прекратится с образованием проводников. Причем, какой величины был сделан уступ микрорельефа, такой же толщины будут алюминиевые проводники внутри оксида. Чтобы избежать образования грубого рельефа и сделать поверхность платы вновь планарной, первое анодирование делается на глубину, которая равна приблизительно четверти заданной толщины будущих проводников, стравливается полученный оксидный слой, вновь анодируются эти же места так, чтобы уровень выращенного оксида сравнялся с уровнем платы. Это произойдет, если $a = k \cdot h_{Al} - h_{Al}$, где k – коэффициент объемного роста оксида, а h_{Al} – толщина проанодированного алюминия. Следовательно, при повторном анодировании нужно проанолировать алюминий на толщину $h_{Al} = a/k - 1$. После этого маскирующий рисунок удаляется с мест формирования проводников в теле оксида и проводится окончательное анодирование. В конечном итоге мы имеем встроенные в тело оксида Al_2O_3 проводники толщиной равной $h_{np} = a \cdot k / (k - 1)$. Последовательность технологических операций формирования таких плат со встроенными проводниками отображена на рис. 4.

Таким образом, рассмотренная технология с использованием подложек оксида алюминия позволяет задавать толщину проводников путем формирования маскирующих рисунков этих проводников на обеих сторонах подложки, и выводить контактные площадки на обе стороны платы.

Отметим, что в полученных платах двухсторонним сквозным анодированием между двумя барьерными слоями Al_2O_3 могут оставаться вкрапления Al из-за различия в толщине исходной алюминиевой пластины (разброс толщины более 3 мкм) и поверхностных микродефектов. Такие вкрапления Al могут образовывать мостики закорачивания между встроенными проводниками. Устранение этих вкраплений Al осуществляется дополнительным биполярным анодированием. Для этого плата устанавливается в двухкамерной химической ванне. В катод-

ную камеру заливается электролит анодирования, а в анодную – буферный электролит и на электроды подается напряжение равное или несколько большее предшествующего сквозного анодирования. Алюминий во вкраплениях анодируется, а в местах без вкраплений, благодаря буферному электролиту, создается электрическое сопротивление цепи равное сопротивлению анодирования, что исключает пробой подложки. Процесс ведется до полного проанодирования этих Al вкраплений. На рис. 5 представлены фотографии изготовленных плат по изложенной нами технологии.

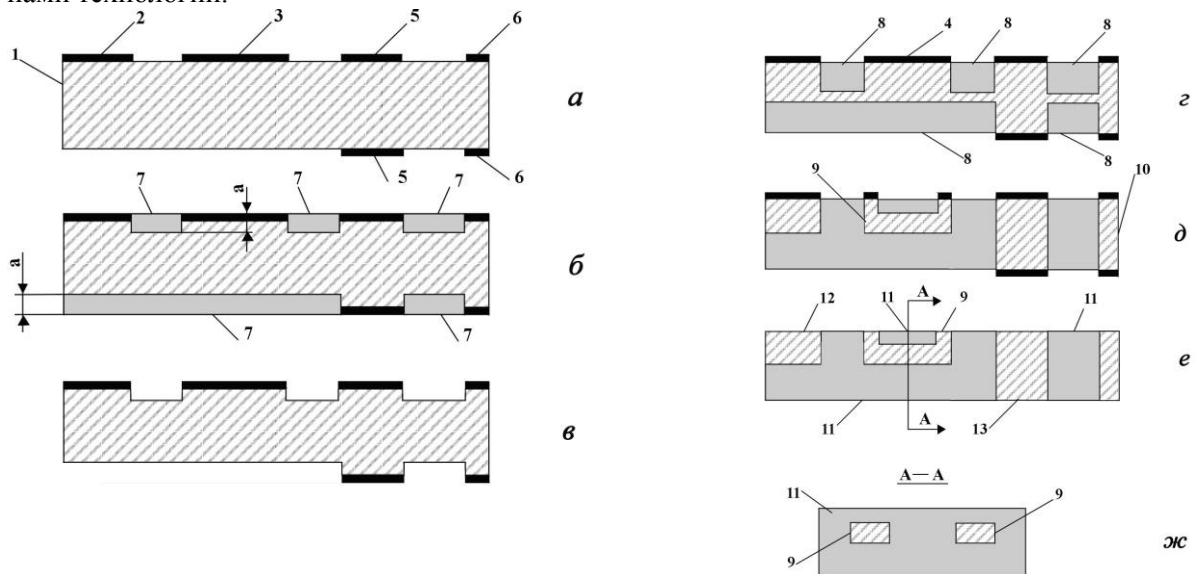


Рис. 4. Последовательность формирования платы со встроенными проводниками: 1 – алюминий; 2,3,4,5,6 – фоторезистивные маски; 7 – слой оксида первого анодирования; 8 – слой оксида второго анодирования; 9 – встроенный проводник с контактными площадками; 10 – разделительный слой; 11 – оксид Al_2O_3 ; 12 – проводник на поверхности платы; 13 – переходной проводник

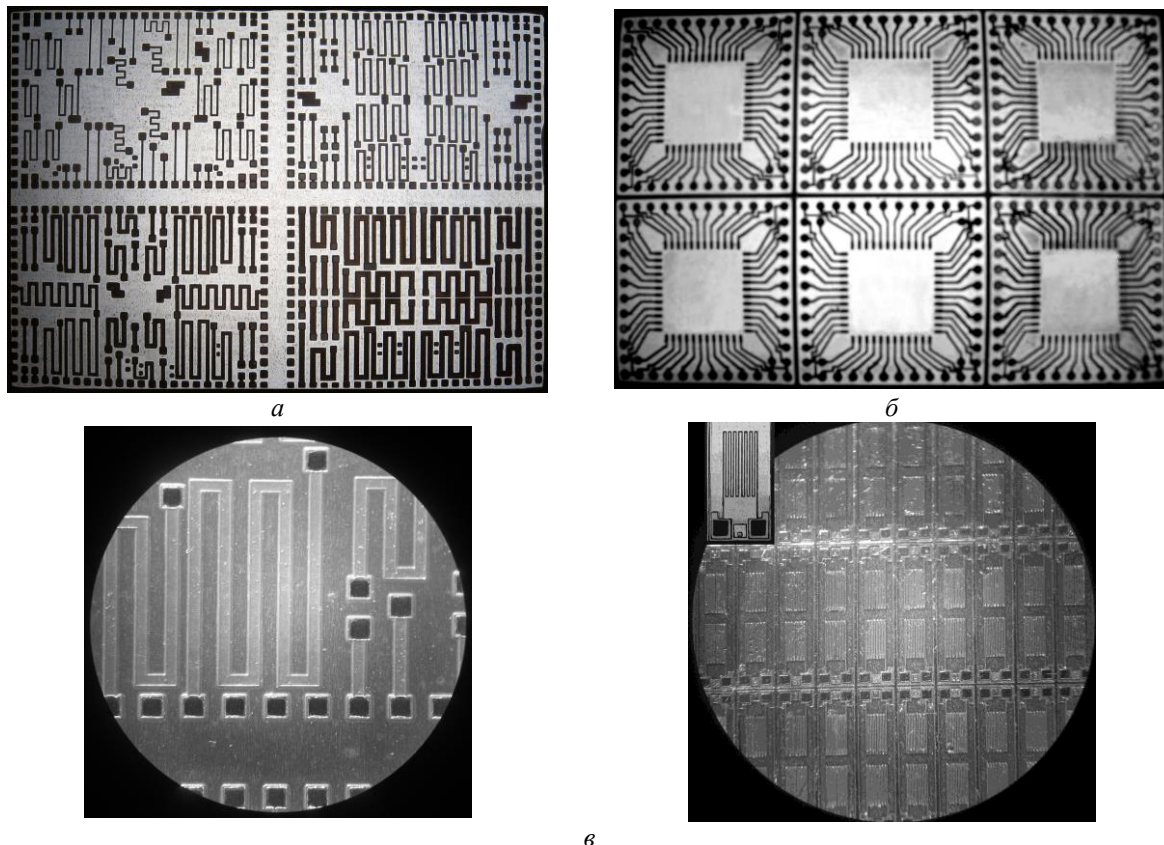


Рис. 5. Фотографии подложек оксида алюминия со сформированными в тело резистивными элементами (а), проводящими дорожками для кристаллоносителя (б), уплотненным вариантом меандра (в)

Заключение

На основании выполненных исследований можно констатировать, что в процессе формирования подложек анодного оксида алюминия путем анодирования исходных Al образцов можно одновременно в их объеме создавать системы межсоединений с контактными площадками на любой из сторон. В результате варьирования рядом управляемых параметров процесса и последовательностью технологических операций можно задавать толщину подложки анодного Al_2O_3 и любую глубину залегания системы межсоединений, сформированной в ее объеме. Кроме того, задается толщина алюминиевых проводящих дорожек и площадок, а с помощью внешних выводов имеем возможность подсоединения к этой системе межсоединений различных навесных или формируемых позже на поверхности подложки элементов микросхемы.

TECHNOLOGICAL PARTICULARITIES OF THE CIRCUIT BOARD WITH THE BUILT-IN INTERCONNECTION SYSTEM FORMATION FOR THE ANODE ALUMINA SUBSTRATE

G.V. LITVINOVICH, D.L. SHIMANOVICH

Abstract

Results of the interconnection system formation during substrate anode alumina processing are presented. It is proved that anode Al_2O_3 substrate, interconnection system in the bulk and contact pads formation is possible simultaneously. The thickness of the anode Al_2O_3 substrate, the distribution of the interconnection system in its volume, the sizes of the conducting tracks and pads are specified by the method of the concrete board fabrication. It is possible to connect outboard or formed on the substrate surface later elements of integrated circuits with use external outputs with interconnection system.

Список литературы

1. Назаров Е., Кокорева И. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2008, №3. С. 30–35.
2. Neftin S., Mirsky U. Device for electronic packaging, pin jig fixture / US Patent № 6670704
3. Рахман Танасис // Полупроводниковая светотехника. 2009. № 1. С. 24–25.
4. Сокол В.А. Анодные оксиды алюминия. Минск, 2011.
5. Лыньков Л.М., Мухуров Н.И. Микроструктуры на основе анодной алюмооксидной технологии. Минск, 2002.
6. Сокол В.А. Электрохимическая технология гибридных интегральных микросхем. Минск, 2004.
7. Сокол В.А., Литвинович Г.В. // Матер. 3-ей Междунар. НТК «Современная технологи ГИМС». Нарочь, 1994. С. 107.
8. Сокол В.А., Литвинович Г.В. // Матер. Междунар. НТК «Современные средства связи». Нарочь. 1995. С. 192–193.
9. Сокол В.А., Литвинович Г.В. // Изв. Белор. инж. акад. 1996, № 1 (1). С. 32–34.
10. Игнашев Е.П., Сокол В.А., Шиманович Д.Л. // Матер. Междунар. НТК «Новые технологии изготовления многокристалльных модулей». Мн., 2000. С. 161–162.