

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ТЕРМОСТАБИЛЬНЫХ КОМПАУНДОВ МФ ТЭ-1,  
ТЭ-2, ТЭ-3  
СИЛИКОНОВЫЕ ЗАЛИВОЧНЫЕ КОМПАУНДЫ, НАРАБОТКА, ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЕ.**

*Павлова Александра Анатольевна  
Томский Государственный Университет  
Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР),  
магистр.*

*Санько Сергей Александрович  
Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов (НИИПП),  
инженер-конструктор.  
Хотненко Юрий Анатольевич  
Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов (НИИПП),  
инженер-конструктор I категории.*

**SILICONE CASTING COMPOUNDS, OPERATING TIME, THERMOCYCLING.**

*Pavlova Alexandra Anatolievna  
Tomsk State University of Control Systems and Radio electronics (TUSUR),  
master degree.*

*Sanko Sergey Alexandrovich  
Research Institute of Semiconductor Devices,  
design engineer.*

*Khotnenok Yuri Anatolievich  
Research Institute of Semiconductor Devices,  
design engineer of the 1st category.*

**Аннотация.** Целью работы является получение оптически прозрачного и термостабильного компаунда в диапазоне температур от минус 65°С до 85°С для применения в устройствах микроэлектроники.

Основными задачами является разработка компаундов, удовлетворяющих требованиям, проведение их испытаний и исследований, а также анализ полученных данных.

Основным практическим применением разработанных компаундов является применение в качестве защитных компаундов для устройств микроэлектроники.

The work aim is optically transparent and thermostable compound obtaining in the temperature range from minus 65 ° C to 85 ° C for use in microelectronic devices.

The main tasks are the development of compounds that meet the requirements, their testing and research, and the analysis of the data.

The main practical application of the developed compounds is as protective compounds for microelectronic devices.

---

**Введение**

Долгосрочная, надежная защита чувствительных приборов приобретает всё большую значимость для современной электроники. Заливочные компаунды на основе силикона обеспечивают надежную диэлектрическую изоляцию, амортизируют механические напряжения и вибрации, выступают как барьер против загрязнений из окружающей среды, сохраняя свойства в широком диапазоне температур и влажности.

Заливочные компаунды – это группа защитных материалов, используемых в качестве изоляторов электроники от действия неблагоприятных факторов. С помощью компаундов проводится полная герметизация электроники, – такая защита обеспечивает отличные рабочие параметры даже в условиях экстремальной окружающей среды [1].

С помощью силиконовых компаундов можно заполнять различные полости без риска появления конденсата и нежелательной влаги на поверхности обработанных изделий. Для продукции с установленными внутри светодиодами существуют специализированные оптически прозрачные составы [2].

Основные преимущества:

- оптимальный вариант для хрупкой электроники;
- защита от загрязнения, поступающего из внешней среды;
- обеспечение свойств надежного диэлектрика;
- амортизация механического напряжения;
- легкое и быстрое нанесение;
- подавление вибрации.

Помимо сохранения своих физических и электрических свойств в широком диапазоне рабочих условий, силиконы устойчивы к разрушению под воздействием озона и ультрафиолета и обладают хорошей химической стабильностью [3].

В настоящее время для заливки светодиодов (СИД) на предприятии используется силиконовый компаунд фирмы DOW CORNING OE6636, имеющий высокий показатель преломления  $n=1,53$ , а соответственно, – хороший световыход. Данный компаунд удовлетворяет требованиям по реологическим показателям (текучий, хорошо выходят пузыри), хорошо защищает серебро от потемнения, удовлетворительная твердость, но не удовлетворяет по критерию стойкости при термоциклировании (выдерживает температуру до минус  $40^{\circ}\text{C}$ , но при понижении до минус  $65^{\circ}\text{C}$  компаунд отходит от стенок корпуса диода).

В связи с проблемой использования компаунда DOW CORNING OE6636, был выбран и опробован аналог данного продукта, – силиконовый компаунд СИЭЛ 159-254 МЗ (осветлённый). Выбранный компаунд характеризуется стойкостью к низкой температуре (до минус  $80^{\circ}\text{C}$ ), хорошей прозрачностью и адгезией к керамике. Главными его недостатками являются низкий показатель преломления ( $n=1,41$ , что составляет на 10% меньше, чем у OE6636) и мягкость (легко повреждается, липкий). Также при использовании СИЭЛ 159-254 МЗ, серебро под ним быстро темнеет при наработке и при испытаниях на серу. С целью устранения указанных недостатков, были разработаны компаунды на основе СИЭЛ 159-254 МЗ: МФ-ТЭ-1, МФ-ТЭ-2 и МФ-ТЭ-3.

#### Данные о методике исследования

Долговременные испытания на наработку проходят при мощности СИД  $P=1$  Вт (соответственно  $I_{пр}=350\text{mA}$ ,  $U_{пр}=3\text{В}$ ) и окружающей температуре  $T_{окр}=85^{\circ}\text{C}$  в соответствии с ГОСТ Р 27.607-2013. Как оказалось, существенное влияние на долговременную работоспособность приборов оказывают материал корпуса (пластмасса или керамика) и крепление кристалла в корпусе: либо на эпоксидный клей DIEMAT, либо на припойную пасту – бессвинцовая паста SACm ( $88,5\% \text{InCu}$ ,  $T_{пл}=230^{\circ}\text{C}$ ).

#### Экспериментальная часть

Первым разработанным компаундом был компаунд МФ-ТЭ-1 (А вязкая: Б жидкая = 1:1,  $150^{\circ}\text{C}/1\text{час}$ ), по консистенции более вязкий, чем OE6636, подобен ему по твёрдости. По световыходу оба компаунда дают одинаковые результаты, что говорит о хорошей прозрачности и высоком показателе преломления. В ходе работы исследуются три из четырех возможных вариантов (пластмассовый и керамический корпуса, клей DIEMAT и припойная паста SACm). На рисунке 1 приведены характеристики светового потока СИД при наработке с компаундом МФ-ТЭ-1.

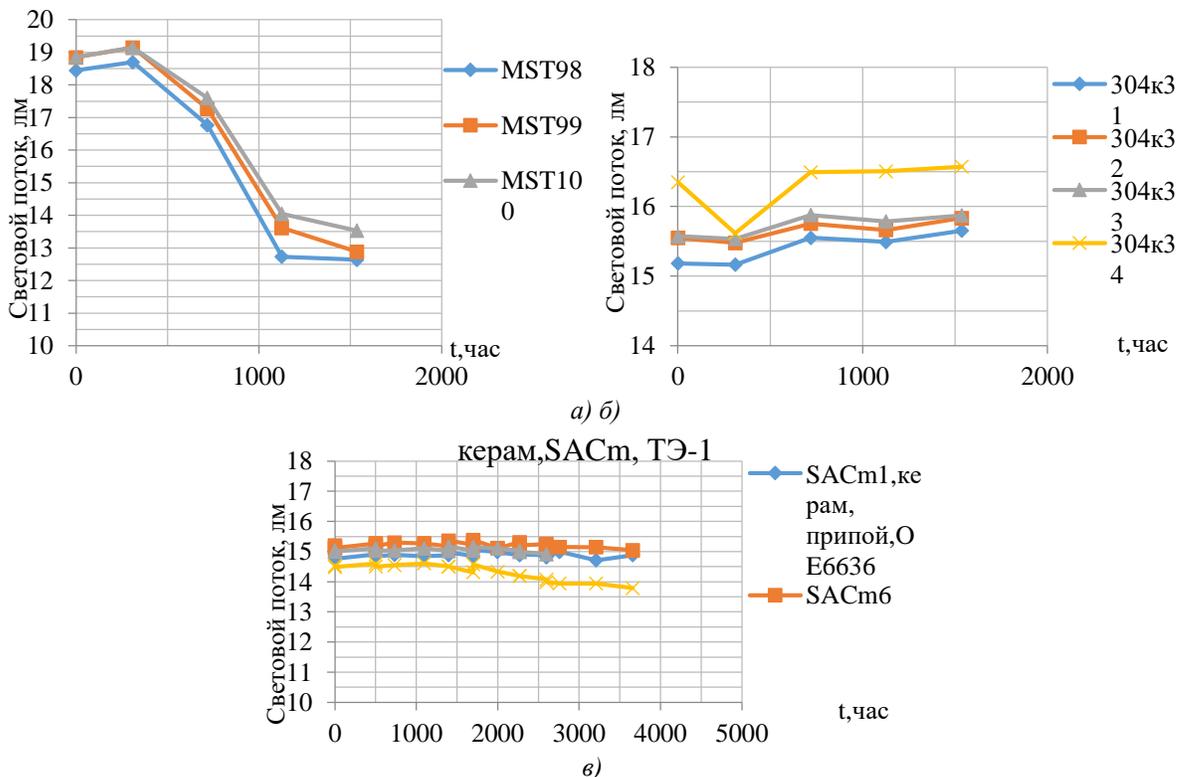


Рисунок 1 – Характеристики светового потока СИД при наработке с компаундом МФ-ТЭ-1: а – пластмассовый корпус, клей DIEMAT; б – керамический корпус, клей DIEMAT; в – керамический корпус, припойная паста SACm

На пластмассовом корпусе с клеем уже при 719 часах наработки клей под кристаллом почернел. При 3658 часах наработки на керамических корпусах с клеем и припойной пастой серебро, кристалл и стенки корпуса не имеют видимых изменений, а световой поток стабилен.

Далее был разработан и исследован компаунд МФ-ТЭ-2, который в сравнении с ТЭ-1 характеризуется большей жесткостью, темнее, а световыход меньше на 5-15%.

В ходе работы исследовались пластмассовые и керамические корпуса с клеем DIEMAT. При наработке (рисунок 2) на пластмассовых корпусах сначала происходит подъём (500 час), затем световыход падает ниже начального состояния (1500 час), после чего стабилизируется на одном уровне. На керамических корпусах световыход повышается при наработке со 1000 часов, затем стабилизируется.

По внешнему виду на пластмассовом корпусе (№304L) образуются чёрные пятна на клее под кристаллом, темнеют стенки корпуса, и происходит небольшое окисление серебра по периметру. На керамическом корпусе (№410э) кристалл и серебро видимых изменений не имеют.

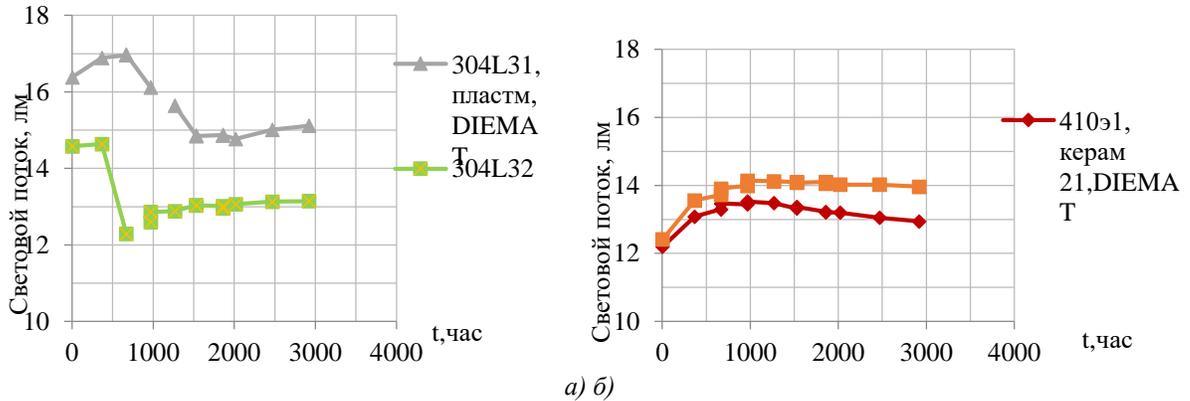


Рисунок 2 – Нарботка СИД в керамических и пластмассовых корпусах с компаундом ТЭ-2: а – пластмассовый корпус, клей DIEMAT; б – керамический корпус, DIEMAT

Далее был разработан и исследован компаунд МФ-ТЭ-3 (А:Б=1:2, 150С/1час). При исследовании на наработку СИД в пластмассовых корпусах с клеем DIEMAT, на серебре, клее и стенках корпуса появляется коричневый налёт, а световой поток резко падает на 3-6% (рисунок 3).

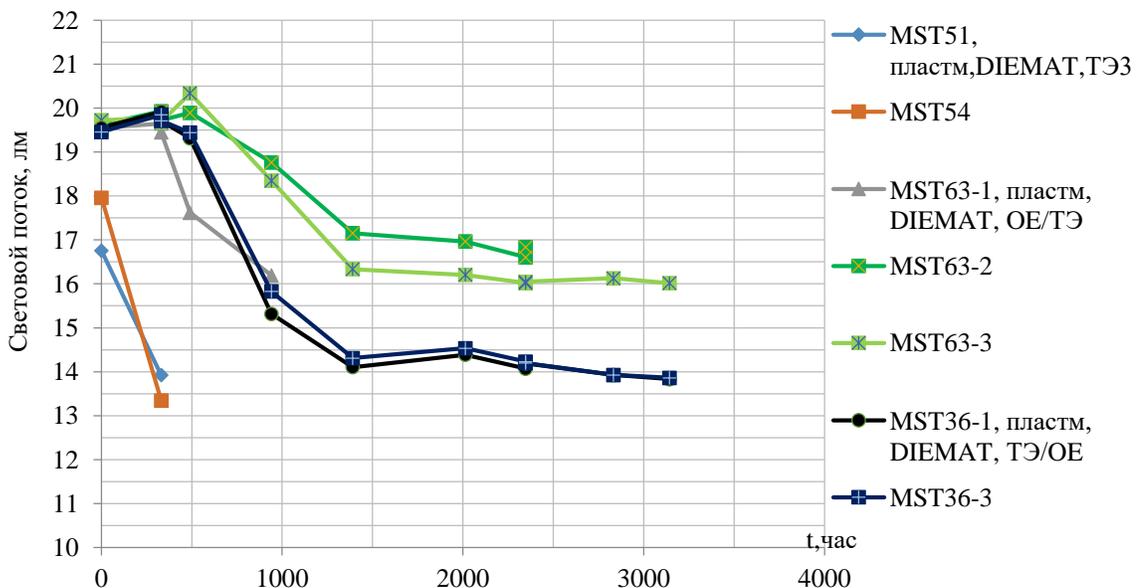


Рисунок 3 – Нарботка СИД в пластмассовом корпусе с компаундом ТЭ-3 (№MST51,54) и смесью ТЭ-3 с ОЕ6636 (№MST63-1,2,3 и №MST36-2,3) в пластмассовых корпусах с клеем DIEMAT

С целью определения компонент ТЭ-3, ответственных за потемнение, были сделаны смеси А(ТЭ-3): Б(ОЕ6636) и А(ОЕ6636): Б(ТЭ-3) – соответственно диоды MST36 и MST63 в пластмассовых корпусах.

Результаты исследования, следующие: на СИД №MST36-1 (ТЭ-3: ОЕ6636, 3143час) видны чёрные клей и серебро, коричневый налёт по внутренней части стенок корпуса. На СИД №MST63-3 (ОЕ6636: ТЭ-3, 3143час) внешний вид клея не изменился, серебро потемнело, появился коричневый налёт на внутренней части стенок корпуса.

Таким образом, в ходе проведения исследований на наработку, было определено, что для компаундов СИЭЛ в пластмассовом корпусе с клеем характерно следующее изменение светового потока: подъём, спад на 30-20%, стабилизация. В таблице 1 представлены результаты исследований на наработку.

Таблица 1

**Световыход при наработке на СИД в пластмассовых и керамических корпусах с разными компаундами**

Характеристика	Материал				
	СИЭЛ 159-254 МЗ	СИЭЛ МФ-ТЭ-1	СИЭЛ МФ-ТЭ-2	СИЭЛ МФ-ТЭ-3	ОЕ6636
Световыход по отношению к компаунду ОЕ6636, до испытаний, %	90	100	94	100	100
Нароботка I <sub>пр</sub> =350мА, Т=85С. Синие СД, керамический корпус	–	100%/3210ч чистые Ag, корпус	106%/2470ч чистые Ag, корпус	–	102%/8000ч чистые Ag и корпус
Пластмассовый корпус	тёмный клей и Ag (начало окисл. Ag 2500ч)	–	92%/2470ч чуть коррозия Ag, на клее чёрный, на пластм. корпусе коричневый налёт	79%/330ч коричневый налёт на Ag и стенках корпуса	102%/8000ч чистый Ag
Световыход – отношение светового потока СИД с данным компаундом и СИД с компаундом ОЕ6636. %/час – остаток от полного светового потока / время наработки.					

**Методика исследования приборов на термоциклирование соответствует ГОСТ Р 51368-99.**

При термоциклировании компаунда МФ-ТЭ-1 (10 циклов (минус 65°С/30мин - 85°С/30мин)) на СИД в пластмассовом корпусе из пяти образцов на четырёх произошло отслоение компаунда от корпуса и произошло четыре обрыва золотой проволоки (в то же время 5 образцов на ОЕ6636 успешно прошли испытания). На керамическом корпусе на одном из двух образцов произошло отслоение компаунда от стенок корпуса.

На испытания по термоциклированию компаунда МФ-ТЭ-2 были представлены как готовые СИД (корпус, наклеенный и распаянный золотой проволокой кристалл), так и пустые корпуса без кристалла:

- 5 шт. СИД №304L в пластмассовом корпусе smd5050-33;
- 5 шт. СИД №410э в керамическом корпусе L035035-21;
- 10 шт. пластмассовых корпусов smd5050-ц;
- 1

1 Все диоды и корпуса были залиты компаундом МФ-ТЭ-2 (соотношение А/Б=1/2, сушка 150°С/2ч). Проведено 10 термоциклов (минус 65°С/30мин – 100°С/30мин).

ш Результаты термоциклирования:

т После термоциклов вольт-амперные характеристики на пластмассовых диодах №304L не изменились, а на керамических №410Э на двух диодах из пяти – обрыв.

в Внешний вид больших пластмассовых корпусов 5\*5мм smd5050-ц удовлетворяет по всем критериям, на СИД в подобных корпусах smd5050-33 на двух из пяти диодов произошло отслоение компаунда от стенок корпуса.

е На больших керамических корпусах 5\*5мм L050050-06 на десяти из одиннадцати произошло растрескивание и отслоение компаунда от корпуса, а на всех диодах в керамических корпусах 3,5\*3,5мм произошло отслоение компаунда от корпуса.

м Таким образом, после проведения десяти термоциклов (минус 65°С -100°С) на пластмассовых корпусах (без кристаллов) внешний вид остался неизменным, а на диодах с кристаллами произошло частичное отслоение компаунда от стенок корпуса. У керамических корпусов неудовлетворительный внешний вид, обрывы на ВАХ.

е  
с  
к  
и  
х

к

Трещинки по краям появляются от повышенной хрупкости при сильном затвердении компаунда на морозе (коэффициент термического расширения компаунда порядка 150-200ppm, а у керамики 5-10ppm).

В сравнении с компаундом ТЭ-1, на термоциклах компаунд ТЭ-2 обладает лучшими характеристиками на пластмассовых корпусах, на керамических же ни один из компаундов не удовлетворяет критериям.

С целью улучшения стойкости к термоциклам были проведены работы с компаундами МФ-ТЭ-2-2 и МФ-ТЭ-3. В таблице 2 приведены результаты исследований компаундов при термоциклировании.

Таблица 2

**Результаты исследований при термоциклировании (минус 65°С/30мин – 85°С/30мин)**

Материал												
	кол -во	СИЭ Л 159- 254 МЗ	кол -во	СИЭ Л МФ- ТЭ-1	кол -во	СИЭЛ МФ- ТЭ-2	кол -во	СИЭЛ МФ- ТЭ-2-2	кол -во	СИЭ Л МФ- ТЭ-3	кол -во	ОЕ663 6
СД №304L пластмассовый корпус smd5050-33	10	Хор	10	7- ОВЧ, 6-XX	5	2-ОБ	–	–	–	–	5	5 хор
пластмассовый корпус smd5050-ц	10	Хор	–	–	18	3- потрескались и ОВЧ	–	–	–	–	–	–
керамический корпус L050050-06	10	Хор	2	1- ОВЧ	25	15- потрескались и ОВЧ	12	2- хор,10- ОВЧ	–	–	14	14- ОВЧ
керамический корпус L050050-06 с крист	–	–	–	–	–	–	7	7-ОВЧ	7	3-хор, 4- ОВЧ	6	7-ОВЧ
керамический корпус L050050-06 без крист, подслей СИЭЛ 159- 254	–	–	–	–	–	–	19	4-ОБ, 19-ОБ	–	–	–	–
керамический корпус L050050-06 без крист, подслей СИЭЛ 159- 254 (сушился верх ногами)	–	–	–	–	–	–	14	2-хор, 10-ОБ	14	5-хор, 7-ОБ	–	–
СД №410 керамический корпус L035035-06	10	Хор	–	–	5	5-ОВЧ, 2- XX	–	–	–	–	–	–
керамический корпус L035035-21	10	Хор	–	–	4	2- потрескались и ОВЧ	–	–	–	–	–	–
XX – холостой ход (обрыв на ВАХ); ОВЧ – отошла внутренняя часть – компаунд отходит от внутренней части стенок корпуса; ОБ – отошёл верх – компаунд отходит от верхней части стенок корпуса; хор – внешний вид и ВАХ не изменились.												

Таким образом, ни один компаунд, кроме СИЭЛ159-254, не выдерживает термоциклы в режиме 10 циклов по 30 минут в диапазоне температур от минус 65°С до 85 °С.

С целью повышения стойкости СИД к термоциклам был введён мягкий подслоя. Сначала в качестве подслоя использовался СИЭЛ 159-254, затем желеобразный СИЭЛ ТМ. Как видно из таблицы 3, подслоя явно улучшает характеристики образцов. На керамических корпусах уходит брак ОВЧ (компаунд отходит от внутренней части стенок корпуса), но появляется ОВ (компаунд отходит от верхней части стенок корпуса) – видимо, при сушке подслоя, компаунд стекает с верхней части стенок корпуса. Было предложено сушить диоды вверх дном, что дало хорошие результаты, но при термоциклах образуется канавка по внешним стенкам корпуса (ОК).

Таблица 3

**Испытания СИД с подслоем**

	Пластмассовый корпус	Керамика Elit Fine L050050-06	Керамика SemiLeds MCH L050050-06
Компаунд ТЭ-2-2	–	из 12: 2-хор 10-ОВЧ	
Подслоя СИЭЛ 159-254 МЗ, компаунд ТЭ-2-2	–	из 9: 4-ОВЧ 9-ОК. Вверх дном из 14: 2-хор, 10-ОК	из 10: 10-ОК
Компаунд ТЭ-3	–	из 7: 3-хор, 4-ОВЧ	–
Подслоя СИЭЛ 159-254 МЗ, компаунд ТЭ-3	–	из 14: 5-хор, 7-ОК	–
Подслоя СИЭЛ ТМ, компаунд ТЭ-3	Вверх дном из 9: 9 хор	–	–
Компаунд ОЕ6636	–	из 20: 20-ОВЧ	–

Для более качественной проверки были проведено 100 термоциклов на 15 образцах (пластмассовый корпус / подслоя СИЭЛ ТМ / ОЕ6636). Сначала 40 циклов с повышением верхнего предела температуры на каждые 10 циклах от (+85°C – минус 60°C) до (+175°C – минус 60°C), затем 60 циклов с понижением нижнего предела от (+85°C – минус 60°C) до (+85°C – минус 80°C). По внешнему виду все образцы успешно прошли испытания, но на восьми образцах из пятнадцати зафиксирован холостой ход (видимо, обрыв золотой проволоки). Отмечается падение световой мощности при 10 термоциклах (+175°C – минус 60°C) на 10%, что свидетельствует об ухудшении свойств СИЭЛ ТМ при нагреве свыше 150°C.

Таким образом, перспективным выглядит подслоя СИЭЛ ТМ с компаундом ТЭ-3, но неосветлённый компаунд ТЭ-3 быстро деградирует при наработке (таблица 4).

Таблица 4

**Световой выход при наработке на СИД в пластмассовых и керамических корпусах с разными компаундами**

Характеристика	Материал					
	СИЭЛ 159-254 МЗ	СИЭЛ МФ-ТЭ-1	СИЭЛ МФ-ТЭ-2	СИЭЛ МФ-ТЭ-2-2	СИЭЛ МФ-ТЭ-3	ОЕ6636
Световой выход по отношению к компаунду ОЕ6636, до испытаний, %	90	100	94	97	100	100
Нароботка I <sub>пр</sub> =350мА, Т=85С. Синие СД, Керамический корпус	–	100% /3210 ч чистые Ag, корпус	106% /2470ч чистые Ag, корпус	–	–	102% /8000ч чистые Ag и корпус
Пластмассовый корпус	85%		92%		79% /330ч	102%

	/8000 ч тёмн. клей и Ag (нача ло окисл Ag 2500ч )	–	/2470ч чуть коррозия Ag, на клее чёрн, на пластм. корп коричнев ый налёт	–	коричнев ый налёт на Ag и стенках лунки	/8000ч чисто е Ag
--	---	---	---	---	---	-------------------------

### Выводы

При наработке СИД в пластмассовых корпусах с клеем DIEMAT чернеет клей под кристаллом, темнеют стенки корпуса, чернеет серебро. При использовании компаунда DOW CORNING OE6636 в пластмассовых корпусах внешний вид СИД не изменяется. В керамических корпусах и с клеем DIEMAT, и с безоловянным припоем SACm внешний вид светодиодов не меняется. Световой поток СИД в пластмассовых корпусах с клеем DIEMAT падает на 10-20% в течение первой тысячи часов, после чего стабилизируется. В керамических корпусах и с клеем, и с припоем световой поток стабилен.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о стабильности заливочного компаунда СИЭЛ 159-254, при испытании на термоциклирование 10 циклов (минус 65°C - 85°C), он сохраняет свои свойства и не приводит к выходу из строя приборов. Однако, введение подслоя СИЭЛ ТМ к компаунду МФ ТЭ-3 повышает стойкость к термоциклированию и хороший световыход, обеспечивает удовлетворительно твёрдую поверхность. Но на данный момент заливочный компаунд ТЭ-3 характеризуется неудовлетворительной светостойкостью при наработке.

### Список литературы

1. Силиконовые заливочные компаунды для печатных плат. Date Views 10.06.2021/ostec-materials.ru/materials/dlya-sborki-elektron/silikonovye zalivochnyye - komrau.php.
2. Илларионов, В.Н. and С.Р. Нанушьян, 2001. Силиконовые компаунды СИЭЛ. Экономика и производство,

ришин, М.В., Т.И. Зелякова and С.О. Рубан, 2020. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПАУНДОВ МАРОК СИЭЛ 159-167, СИЭЛ 159-190, СИЭЛ 159-254, СИЭЛ 159-256. ТРУДЫ

М  
Е  
Ж  
Д  
У  
Н  
А  
Р  
О  
Д  
Н  
О  
Г  
О  
С  
И  
М  
П  
О  
З  
И  
У  
М  
А

Н  
А  
Д  
Е  
Ж