

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АЛМАЗНЫХ ТЕПЛОТВОДОВ
В УСТРОЙСТВАХ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4022 группы Института физики

направления подготовки 03.03.02 «Физика»

Красюкова Александра Александровича

Научный руководитель

д.ф.- м.н., доцент

С.В. Овчинников

Зав. кафедрой

д.ф.- м.н., профессор

А.А. Игнатьев

Саратов 2021

Введение

Тема данной работы посвящена расчёту влияния алмазной плёнки на тепловое сопротивление медного теплоотвода и оценке эффективности использования алмазных включений в теплоотвод для систем с сильной локализацией тепловых источников

Объект исследования - многослойная структура, расчёт тепловых сопротивлений теплоотводов с алмазными включениями.

Цель исследования - оценка эффективности использования алмазных включений в теплоотвод для систем с сильной локализацией тепловых источников. Такая оценка проведена на основе расчётов тепловых сопротивлений теплоотводов с алмазными включениями.

Для достижения цели требуется выполнить следующие задачи:

- 1.Собрать и проанализировать теоретический материал по теме.
- 2.Изучить программу для расчёта теплового сопротивления многослойных структур, написанную на языке ФОРТРАН ,описанной в [1-2].
- 3.Провести расчёт теплового сопротивления теплоотвода с алмазными включениями варьируемой толщины.
- 4.Проанализировать результаты расчёта и сделать выводы.

Научная новизна данного исследования заключается в исследовании эффективности использования алмазных включений в теплоотвод для систем с сильной локализацией тепловых источников и оценке целесообразности.

Структура работы определена задачами исследования, логикой раскрытия темы. Работа состоит из введения, двух глав, заключения и списка используемой литературы, пять графиков и семь таблиц.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цели и задачи исследования, а также его теоретическое и практическое значение.

В первой главе работы представлен краткий обзор по технологиям алмазоподобных плёнок, используемых в теплоотводах для делокализации теплового потока и снижения теплового сопротивления.

Во второй главе приведены результаты расчётов теплового сопротивления медного теплоотвода, покрытого алмазной плёнкой варьируемой толщины, при различных размерах площадки, являющейся тепловым источником для теплоотвода.

В заключении подводятся итоги проведённой работы, формулируются общие выводы исследования.

Глава 1. АЛМАЗЫ И ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕПЛОТВОДОВ

Применение алмазных включений в теплоотводы для микроминиатюрных полупроводниковых приборов может значительно улучшить тепловые характеристики таких приборов. Тепловая проводимость алмаза в зависимости от его разновидностей 2–5 раз превосходит этот параметр для меди (таблица 1.1) [3 – 5].

Таблица 1.1 Теплопроводность алмазов и других материалов

Материал	Температура, °С	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Алмаз	20	2000
Медь	20	384
Алюминий	20	209
Сталь	20	47
Карбид кремния	40	21,5
Оксид алюминия	100	6,9

Теплоотвод с алмазным включением обладает способностью рассеяния намного большей удельной тепловой мощности, чем у обычных теплоотводящих материалов, поэтому мощные полупроводниковые приборы, оснащенные алмазными теплоотводами, могут работать с повышенной полезной мощностью на выходе. Алмазные теплоотводы находят применение для транзисторов большой мощности, диодов Ганна, интегральных схем повышенной мощности, полупроводниковых лазеров,

лавинно-пролетных диодов, варикапов и переключающих полупроводниковых приборов [3 – 5].

Поэтому в последнее время все более пристальное внимание разработчиков теплоотводов обращено на поликристаллический CVD-алмаз (CVD: chemical vapor deposition – химическое осаждение из газовой фазы), выращиваемый в плазмохимическом реакторе на основе СВЧ разряда на подложке из кремния.

Интерес к этому материалу вызван его уникальными физико-химическими свойствами и возможностью получения теплоотводящих подложек большой площади.

Таблица 1.2.

Материал	Теплопроводность, Вт/м·К	ТКЛР, $\times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$
CVD-алмаз	2000	1,0
BeO-керамика	215	7,6
AlN-керамика	200	6
Медь	380 ...396	16,5
Сапфир	40	8,2

Использование алмазных подложек в качестве изолирующего теплоотвода позволит поднять мощностные характеристики приборов за счёт уменьшения теплового сопротивления и увеличения предельного тока и рассеиваемой мощности в 1,5...2 раза [6].

Глава 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕДНОГО ТЕПЛОТВОДА, ПОКРЫТОГО АЛМАЗНОЙ ПЛЁНКОЙ

Получены результаты расчётов теплового сопротивления теплоотвода. Алмазная плёнка H_2 имеет размеры $A=B=5\text{мм}$ и толщину $H_2=0.01\text{мм}$, а размеры теплового источника $a=b$ по аналогии будут варьироваться от 0.05мм до 0.9мм .

Таблица 2.1 Результат расчётов теплового сопротивления прямоугольной модели теплоотвода с варьируемой толщиной алмазной плёнки

Тепловое сопротивление теплоотвода с алмазной пленкой R_{Ta} , К/Вт					
Размер источника	$H_2=0$, пленки нет	$H_2=0.01\text{м}$	$H_2=0.03\text{м}$	$H_2=0.05\text{м}$	$H_2=0.07\text{м}$
$a=b=0.05\text{мм}$	28.55	12.68	8.36	7.26	6.77
$a=b=0.07\text{мм}$	20.37	10.32	6.68	5.64	5.17
$a=b=0.1\text{мм}$	14.22	8.21	5.34	4.4	3.95
$a=b=0.2\text{мм}$	7.06	5.02	3.49	2.84	2.48
$a=b=0.3\text{мм}$	4.67	3.64	2.67	2.2	1.92
$a=b=0.4\text{мм}$	3.47	2.85	2.19	1.83	1.61
$a=b=0.5\text{мм}$	2.76	2.34	1.85	1.57	1.39
$a=b=0.6\text{мм}$	2.28	1.99	1.61	1.39	1.23
$a=b=0.7\text{мм}$	1.94	1.72	1.42	1.24	1.11
$a=b=0.8\text{мм}$	1.69	1.51	1.28	1.12	1.01
$a=b=0.9\text{мм}$	1.49	1.35	1.15	1.02	0.93

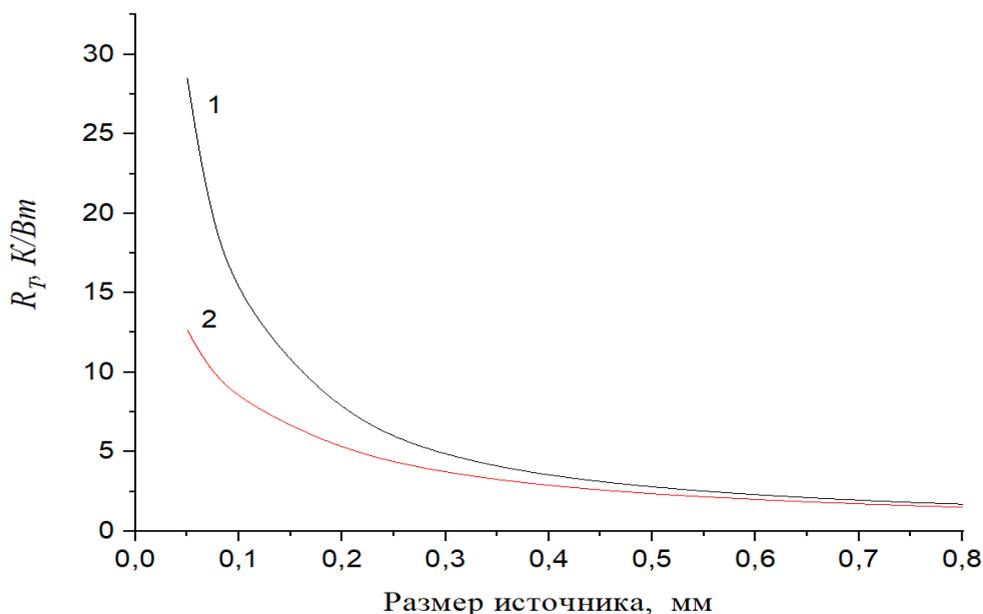


Рис 2.2. Зависимость теплового сопротивления прямоугольного теплоотвода от размера теплового источника медной пластины (1) и медной пластины с алмазной плёнкой, толщиной 0,01 мм (2).

На основе полученных данных уже можно заметить, что вследствие делокализации теплового потока с помощью алмазной плёнки, общее тепловое сопротивление прямоугольной модели теплоотвода с сильной локализацией уменьшилось с 28.55 K/Wm до 12.68 K/Wm , что является изменением более чем в два раза. Так же наблюдается снижение теплового сопротивления с увеличением размеров теплового источника.

В таблице 2.1 представлены результаты расчёта теплового сопротивления прямоугольной модели теплоотвода с толщиной алмазной пленки от 0,01 мм до 0,07 мм, а в таблице 2.2 значение толщины алмазного покрытия варьируется от 0,1 мм до 0,3 мм.

Таблица 2.2. – Продолжение таблицы 2.1

Тепловое сопротивление теплоотвода с алмазной плёнкой R_{Ta} , К/Вт					
Размер источника	$H_2=0,1$ м	$H_2=0.15$ м	$H_2=0.2$ м	$H_2=0.25$ м	$H_2=0.3$ м
	м	м	м	м	м
a=b=0.05mm	6.41	6.13	6.0	5.93	5.88
a=b=0.07mm	4.81	4.54	4.4	4.33	4.28
a=b=0.1mm	3.61	3.34	3.21	3.13	3.08
a=b=0.2mm	2.18	1.93	1.81	1.73	1.69
a=b=0.3mm	1.67	1.45	1.31	1.26	1.22
a=b=0.4mm	1.39	1.2	1.09	1.02	0.98
a=b=0.5mm	1.21	1.04	0.94	0.88	0.84
a=b=0.6mm	1.08	0.93	0.84	0.78	0.74
a=b=0.7mm	0.98	0.84	0.76	0.71	0.67
a=b=0.8mm	0.89	0.77	0.7	0.65	0.62
a=b=0.9mm	0.82	0.72	0.65	0.6	0.57

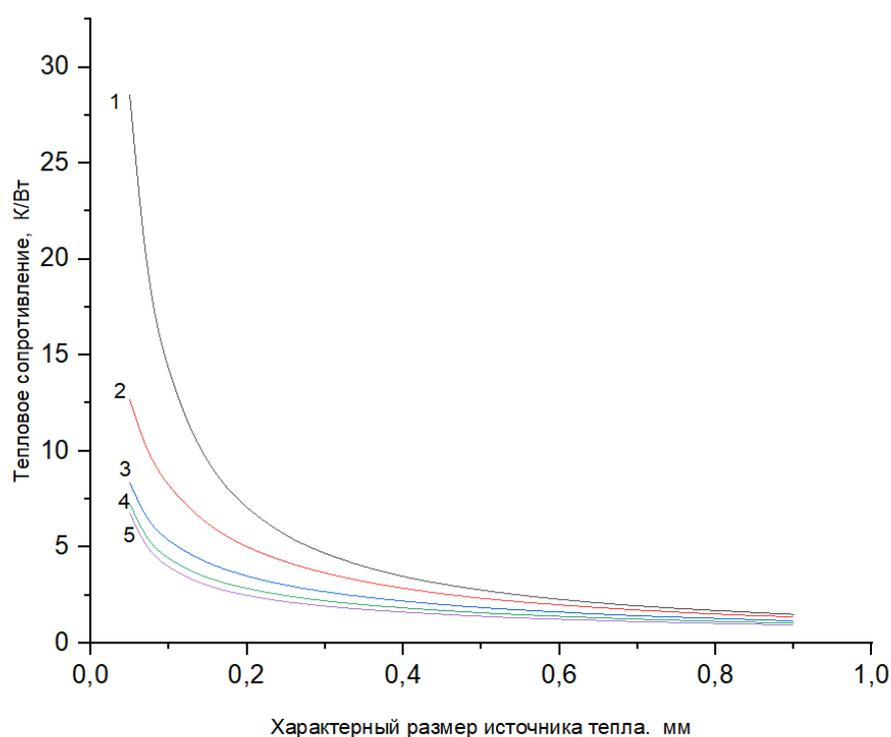


Рис 2.3 Зависимость теплового сопротивления R_{Tot} от размера теплового источника для медной пластины (1) без алмазной плёнки и медной пластины с алмазной плёнкой: $H_2=0.01$ мм (2), $H_2=0.03$ мм (3), $H_2=0.05$ мм (4), $H_2=0.07$ мм (5).

Рассмотрев результаты расчётов, представленных в таблицах (2.1–2.2), а также на рис. 2.2 и 2.3, можно заметить как увеличение толщины алмазной плёнки благоприятно сказывается на снижении теплового сопротивления, что говорит нам о эффективном растекании теплового потока по алмазной плёнке и теплоотводу в целом.

Таблица 2.3. Результат расчётов теплового сопротивления для цилиндрической модели теплоотвода с изменением толщины алмазной плёнки H_2

Тепловое сопротивление цилиндрической модели теплоотвода, К/Вт						
Размер источника r , мм	$H_2=0$, нет пленки	$H_2=0.01$ м	$H_2=0.03$ м	$H_2=0.05$ м	$H_2=0.07$ мм	
0.05mm	14.44	8.1	5.31	4.4	3.96	
0.07mm	10.28	6.43	4.3	3.51	3.11	
0.1mm	7.15	4.95	3.43	2.79	2.45	
0.2mm	3.51	2.81	2.13	1.78	1.56	
0.3mm	2.29	1.95	1.56	1.31	1.18	
0.4mm	1.68	1.49	1.23	1.07	0.96	
0.5mm	1.32	1.19	1.01	0.89	0.81	
0.6mm	1.08	0.99	0.85	0.76	0.69	
0.7mm	0.9	0.84	0.74	0.66	0.61	
0.8mm	0.77	0.72	0.64	0.58	0.54	
0.9mm	0.67	0.63	0.57	0.52	0.48	

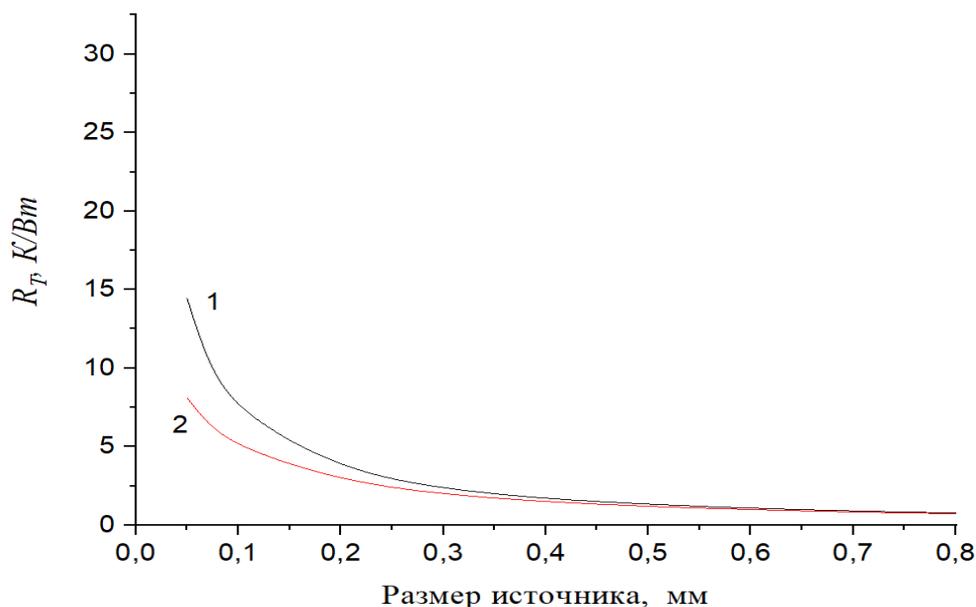


Рис 2.5. Зависимость теплового сопротивления R_T цилиндрической модели теплоотвода от размера теплового источника для медной пластины без алмазной пленки (1) и для медной пластины с алмазной плёнкой толщиной 0,01 мм (2).

Исходя из расчётных данных таблицы (2.3) и графика на рис. 2.5, мы видим, аналогичную ситуацию, как и прямоугольной модели. Вследствие делокализации теплового потока с помощью алмазной плёнки, общее тепловое сопротивление цилиндрической модели уменьшилось с $14,44 \text{ K/Bm}$ до $8,1 \text{ K/Bm}$ что является существенно разнится с показателями прямоугольной модели, однако точно так же наблюдается снижение эффективности с увеличением размеров теплового источника.

Для более полного анализа произведены расчёты теплового сопротивления цилиндрической модели с толщиной алмазной плёнки $H_2 = 0,1 \text{ мм}, 0,15 \text{ мм}, 0,2 \text{ мм}, 0,25 \text{ мм}, 0,3 \text{ мм}$.

Таблица 2.4. Результат расчётов теплового сопротивления для цилиндрической модели теплоотвода с изменением толщины алмазной плёнки H_2 – продолжение таблицы 2.3

Тепловое сопротивление цилиндрической модели теплоотвода, К/Вт					
Размер источника	$H_2=0,1$ м м	$H_2=0.15$ м м	$H_2=0.2$ м м	$H_2=0.25$ м м	$H_2=0.3$ мм
$r=0.05$ мм	3.61	3.33	3.19	3.11	3.06
$r=0.07$ мм	2.78	2.51	2.38	2.3	2.25
$r=0.1$ мм	2.15	1.9	1.77	1.69	1.64
$r=0.2$ мм	1.35	1.15	1.04	0.97	0.92
$r=0.3$ мм	1.03	0.87	0.78	0.72	0.67
$r=0.4$ мм	0.84	0.71	0.64	0.58	0.54
$r=0.5$ мм	0.71	0.61	0.54	0.5	0.46
$r=0.6$ мм	0.62	0.53	0.48	0.44	0.41
$r=0.7$ мм	0.55	0.47	0.42	0.39	0.36
$r=0.8$ мм	0.49	0.42	0.38	0.35	0.33
$r=0.9$ мм	0.44	0.39	0.35	0.32	0.3

Рассмотрев результаты расчётов из приведённых таблиц, было замечено как увеличение толщины алмазной плёнки благоприятно сказывается на снижении теплового сопротивления, что говорит нам о эффективном рассеивании теплового потока теплоотводом.

Заключение

Пленки поликристаллического алмаза могут быть успешно применены для создания теплоотводов с низким значением теплового сопротивления на участке от сильно локализованного теплового источника до поверхности рассеяния тепла в среду. Тепловое сопротивление рассеяния тепла в окружающую среду – это отдельная задача теплового проектирования.

Для каждой степени локализации теплового источника, то есть от соотношения размеров активного кристалла, сидящего на теплоотводе, и размеров теплоотвода существует оптимальная толщина алмазного покрытия, увеличение которой нецелесообразно. Эта толщина зависит от теплопроводности материалов теплоотвода, соотношения всех размеров и должна определяться на этапе теплового проектирования.

При этом необходимо учитывать, что в алмазном покрытии присутствует анизотропия теплопроводности: нормальная составляющая теплопроводности (в направлении, перпендикулярном слою) на 10 – 15% превосходит тангенциальную составляющую (в направлении по плоскости слоя). А в некоторых случаях такая разница может достигать до 50%.

Ещё отметим, что при температурах выше комнатной теплопроводность алмаза уменьшается в силу возрастающей роли фонон-фононного рассеяния. В диапазоне температур 300...500К, важном для практических применений, теплопроводность может быть аппроксимирована степенной зависимостью $\lambda \approx const \cdot T^{-n}$, где показатель n зависит от степени дефектности алмаза, т.е. от значения λ при комнатной температуре. Для качественных пластин ($\lambda = 1800 \dots 2000$ Вт/(м·К)) показатель $n \approx 1$ [7]. Это означает, что при нагреве от комнатной температуры до 200°C теплопроводность алмаза уменьшается примерно в 1,6 раза.

Список использованных источников

1. СВИДЕТЕЛЬСТВО РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610993. Овчинников С.В., Самолданов В.Н., Ляшенко А.В., Солопов А.А. Программа расчета стационарного теплового сопротивления многослойных конструктивных элементов мощного магнитоэлектронного транзистора с прямоугольной формой. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 21.04.04.
2. Овчинников С. В., Солопов А. А. Формулы для аналитического расчета тепловых сопротивлений цилиндрических элементов твердотельной радиоэлектроники с локализованным тепловыделением // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. / под ред. проф. А. В. Ляшенко. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2013. – Вып. 15. С. 32 – 37.
3. Моряков О. С. Алмазные теплоотводы в конструкции полупроводниковых приборов // Обзоры по электронной технике. Сер. Полупроводниковые приборы. – М.: ЦНИИ «Электроника», 1982. Вып. 1(857). 46 с.
4. Байтч А.Т. Алмазные теплоотводы для твердотельных приборов // Зарубежная радиоэлектроника. 1971. № 6. С. 142 – 147.
5. Eden R. C. Applications of Diamond Substrates for Advanced Density Packaging // Diamond and Related Materials. 1993. № 3.
6. Мальцев П.П., Редькин С.В., Глинский И.А. и др. Алмазные наноструктуры для теплоотводов СВЧ полупроводниковой электроники // Российские нанотехнологии. 2016. Т. 11. № 7–8. С. 82 – 88.
7. Sukhadolau A.V., Ivakin E.V. et al. Thermal conductivity of CVD diamond at elevated temperatures // Diamond and Related Materials, 2005, v.14, p.589.