

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СВОЙСТВА СВЕРХПРОВОДИМОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НОВЫХ СОСТАВОВ ПЯТИКОМПОНЕНТНЫХ ОКСИАРСЕНИДОВ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПЕРЕХОДА В СВЕРХПРОВОДЯЩЕЕ СОСТОЯНИЕ

А.Н. Гусев

Московский государственный областной университет (МГОУ)
105005, Москва, ул. Радио, 10а

Аннотация. В статье приведены данные по веществам с рекордно высокими температурами перехода в сверхпроводящее состояние, краткий обзор применений сверхпроводящих веществ в области силовой электроники и микроэлектроники. На основе идентификации сверхпроводящих свойств нового класса железосодержащих сверхпроводящих веществ и выполнено прогнозирование составов этих веществ с температурами сверхпроводящего перехода от 55 до 62,5 К.

Ключевые слова: высокотемпературная сверхпроводимость, аномальные эффекты в сверхпроводящем состоянии, изотопический эффект у сверхпроводников, идентификация, прогнозирование составов, температура перехода в сверхпроводящее состояние.

С момента своего открытия в 1911 году явление сверхпроводимости стало сильнейшим стимулятором новых исследований для заинтересованных специалистов. Результатом этих исследований стало появление принципиально новых материалов, областей науки и техники, прежде всего систем электроники, в которых применение сверхпроводимости позволило получить рекордные показатели по ряду технических характеристик энергетических устройств и систем [1], микроэлектронных устройств обработки информации [2], болометрических приемников теплового излучения [3] и т.д. Проблемы практического применения эффектов, наблюдаемых в состоянии сверхпроводимости, были связаны с реализацией надежного теплового охлаждения [4], поэтому задача повышения температуры перехода в сверхпроводящее состояние превратилась в фундаментальную проблему.

Открытие высокотемпературной сверхпроводимости 25 лет назад [5] произвело эффект разорвавшейся бомбы, т.к. при этом не только произошел резкий скачок в значениях температуры сверхпроводящего перехода до значения 92 К, но и резко расширился круг материалов (оксиды, керамики), обладающих свойством сверхпроводимости. Открытие высокотемпературной сверхпроводимости ещё больше обострило существовавшие в этой области проблемы:

1. поиска материалов с более высокой температурой перехода в сверхпроводящее состояние,
2. реализации технических решений в силовой электронике,
3. создания микроэлектронных устройств и систем обработки информации и вычислительной техники.

Решение первой проблемы происходит очень интенсивно в последние годы, благодаря совершенствованию технологии изготовления многослойных керамик. На сайте

[6] ведется календарь рекордов величины очередной более высокой обнаруженной температуры перехода в сверхпроводящее состояние (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Рекорды температур перехода материалов в состояние сверхпроводимости

Дата публикации	Температура T_c	Состав
03.10.2007	175	$\text{Sn}_{1.4}\text{In}_{0.6}\text{Ba}_4\text{Tm}_5\text{Cu}_7\text{O}_{20+}$
14.03.2008	185	$(\text{Sn}_{1.0}\text{Pb}_{0.5}\text{In}_{0.5})\text{Ba}_4\text{Tm}_5\text{Cu}_7\text{O}_{20+}$
17.07.2008	195	$(\text{Sn}_{1.0}\text{Pb}_{0.5}\text{In}_{0.5})\text{Ba}_4\text{Tm}_6\text{Cu}_8\text{O}_{22+}$
30.11.2008	212	$(\text{Sn}_5\text{In})\text{Ba}_4\text{Ca}_2\text{Cu}_{10}\text{O}_y$
24.03.2009	233	$\text{Tl}_5\text{Ba}_4\text{Ca}_2\text{Cu}_{10}\text{O}_y$
18.05.2009	240	$(\text{Tl}_4\text{Ba})\text{Ba}_4\text{Ca}_2\text{Cu}_{10}\text{O}_y$
10.10.2009	250	$(\text{Tl}_4\text{Ba})\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_7\text{O}_{13+}$
14.10.2010	258	$(\text{Tl}_4\text{Ba})\text{Ba}_2\text{Mg}_2\text{Cu}_7\text{O}_{13+}$
24.10.2010	265	$(\text{Tl}_4\text{Ba})\text{Ba}_2\text{MgCu}_8\text{O}_{13+}$



Рис. 1. Зависимость открытия рекордных температур перехода в сверхпроводящее состояние во времени

Группа материалов, позволивших получить рекордно высокие температуры перехода, была исследована ещё в начале 90-х годов прошлого века [7]. Тогда было показано, что определяющую роль на значение температуры T_c оказывают базовые слои проводящих оксидов CuO_2 , разделенных слоями ионов Ca^{2+} , которые обеспечивают прочную ионную связь между купратными слоями. При этом считалось, что диэлектрические оксидные слои (TlO , BaO , MgO и т.д.) играют вспомогательную роль, создавая между купратными слоями расстояния, обеспечивающие эффект близости, определяющий джозефсоновскую (туннельную) связь. Однако последние исследования показали, что именно ионные связи, созданные атомами Mg , могут существенно изменить физические свойства всей структуры.

В последних исследованиях [8] решающую роль сыграла технология получения многослойных структур и использование в качестве базовых слоев состава CuO_2 и MgO_2 . Здесь был реализован обмен атомов Mg и Cu в купратных слоях, поскольку атомы меди и магния имеют почти идентичные ионные радиусы. В итоге перемещения атомов Mg в определяющей стехиометрической оси Mg-Cu-Tl-Ba в исходной последовательности слоев (Mg-O)-(Cu-O)-(Tl₂-O₃)-(Ba-Cu-O)-(Cu-O) возникает структура (Tl₄Ba-CuO (9223)-Mg₂), которая увеличивает температуру T_c за счет резкого возрастания плоского соотношения веса для оси Tl-O-Cu с 5 до 6,3 (рис. 2).

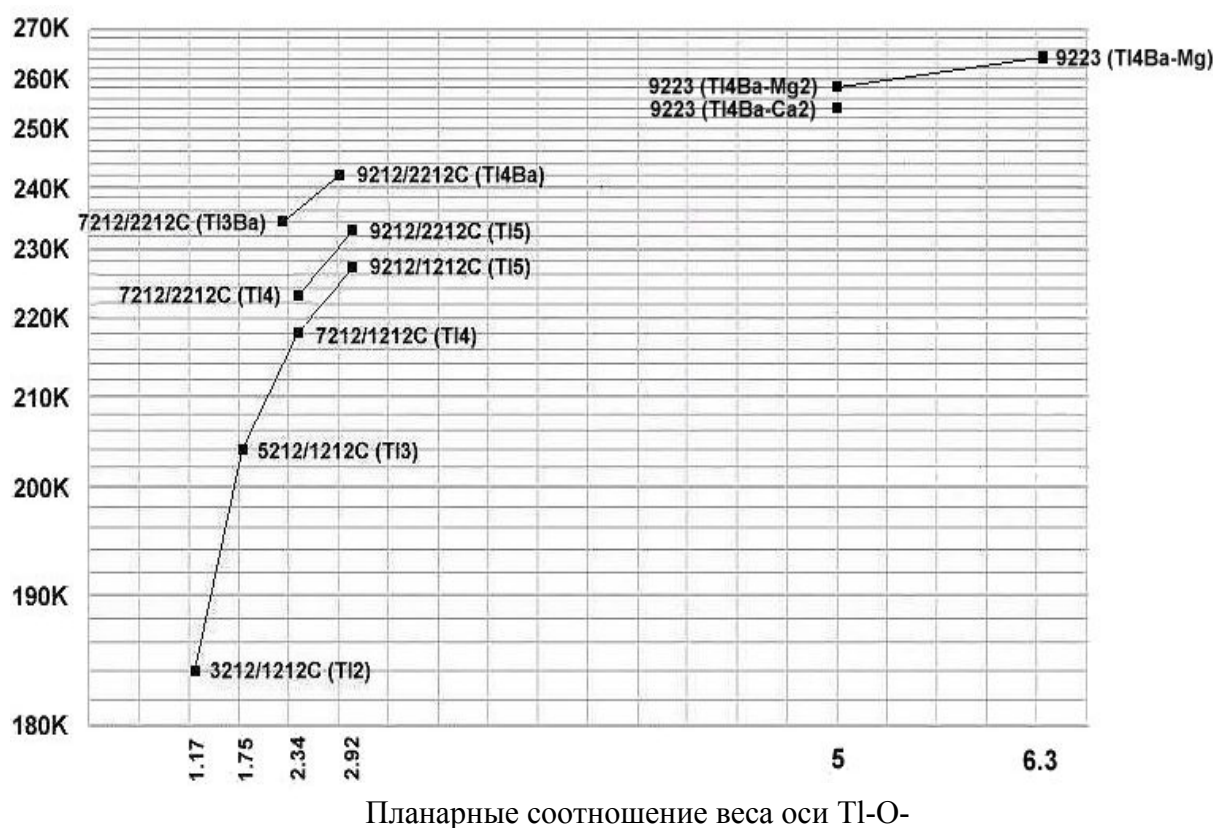


Рис. 2. Зависимость температуры T_c от показателей многослойных структур класса $(\text{Tl}_4\text{Ba})\text{Ba}_2\text{MgCu}_8\text{O}_{13+}$

Вторая проблема, связанная с технической реализацией применений явления сверхпроводимости в силовой электронике, также сопряжена, прежде всего, с поиском подходящих материалов. В основе любых применений в данной области (сверхпроводящие кабели, магниты, ЯМР-томографы, ускорители частиц, реакторы и т.д.) лежит сверхпроводящий проводник электрического тока. Как и к любому проводнику электрического тока к нему предъявляется определенный набор технических требований: электрических, механических, радиационных, экологических, технологических и т.д.

При этом оказалось, что открытие высокотемпературной сверхпроводимости не позволило в промышленных масштабах применить новые классы материалов для сверхпроводящих проводников, т.к. они не удовлетворяют целому ряду требований для этих применений. В итоге материалы низкотемпературной сверхпроводимости, открытые до

1986 года, до сих пор остаются основными в силовой электронике. Разработки и исследования ВСТП кабелей до 2010 года так и не вышли на стадию промышленного производства ни в России, ни за рубежом [1, 9].

Решение третьей проблемы – применение явления сверхпроводимости в микросистемных системах обработки информации и вычислительной техники – сложилось наиболее драматически. С первых дней после публикации пионерной работы [5] во всех странах развернулось настоящее соревнование по всем направлениям: поиска материалов, новых технологий синтеза пленок, разработок схемотехнических и конструктивных решений элементов и устройств систем обработки информации и вычислительной техники [1]. Ведущие мировые фирмы затрачивали огромные средства на исследования в области высокотемпературной сверхпроводимости. Например, ведущие фирмы Японии запатентовали практически всю элементную базу вычислительной техники на основе логических элементов с эффектом Джозефсона.

Наибольшие успехи были достигнуты в области СВЧ электроники, т.к. были разработаны различные устройства на высокотемпературных сверхпроводящих материалах: линии передач, линии задержки, полосовые фильтры, амплитудные и фазовые модуляторы, переключатели и ограничители СВЧ-мощности, малогабаритные антенны и другие, в которых рабочий диапазон частот расширился до сотен ГГц [1,2].

Наконец, были сформированы и программы государственного финансирования исследований, в частности в СССР – государственная научно-техническая программа «Высокотемпературная сверхпроводимость».

Постепенно стало выясняться, что отдача от инвестиций в исследования и разработки не соответствует ожиданиям и прогнозам. Проект высокотемпературной сверхпроводимости по суммарным затратам оказался в одном ряду с такими несбыточными глобальными проектами, как проект стратегической оборонной инициативы, направленный на создание сплошного трехмерного радиолокационного поля с нереализуемым пространственным разрешением или объявленный несколько лет назад мировой проект «Геном человека», целью которого является полная расшифровка генома человека как вида.

Для того чтобы понять, почему на первых этапах исследований высокотемпературной сверхпроводимости не был произведен ожидаемый прорыв, перечислим сначала главные решенные задачи, определившие прогресс современной микроэлектроники.

1. Открытие электронных свойств полупроводников как нового класса материалов.
2. Открытие транзисторного эффекта в германиевой и кремниевой полупроводниковых структурах с чередующимися областями электронной и дырочной проводимостями и переход от вакуумной к твердотельной элементной базе электронных устройств.
3. Разработка полного комплекса схемотехнических решений, необходимых для построения универсальных электронных вычислительных машин, а также специализированных электронных систем обработки информации.
4. Создание кремниевой полупроводниковой технологии мультиплицирования и интеграции схем в одном кристалле.
5. Разработка алгоритмов и программного обеспечения, определивших эффективность работы электронных систем.

Теперь можно отметить, что в исследованиях при решении третьей проблемы создания микроэлектронных устройств и систем обработки информации и вычислительной техники на основе явления сверхпроводимости выпали такие логические звенья, кото-

рые аналогичны второй и четвертой задачам, решение которых и определило прогресс современной микроэлектроники.

Эффекта, аналогичного транзисторному эффекту в сверхпроводящей электронике, пока не обнаружено. Открытие транзисторного эффекта базируется на модели и действительном наличии альтернативных по механизмам проводимости свойствам (электронной и дырочной проводимости). В объяснении сверхпроводимости превалирует одна теория, которая не предусматривает разных, а тем более альтернативных механизмов сверхпроводимости. Теоретически принято существование сверхпроводников 1 и 2 рода по критерию знака такой физической характеристики как поверхностная энергия. Для сверхпроводников второго рода поверхностная энергия отрицательна, в силу чего в них допускается разбиение образца на отдельные области сверхпроводящего и нормального состояний, однако гипотез каких-либо различий (как, например, разной намагниченности для магнитных доменов) для областей сверхпроводящего состояния не выдвинуто. Поэтому практические применения сверхпроводимости основаны на эффекте разрушения сверхпроводимости под влиянием внешних факторов.

Эффект Джозефсона, который был заложен в основу схемотехнических решений логических элементов на основе низкотемпературной сверхпроводимости [2], а затем перенесен и на решения на основе высокотемпературных сверхпроводящих материалов, определяет возникновение туннельного тока, чрезвычайно малого по своей величине. Принцип действия таких логических элементов заключается в фиксировании двух состояний: при наличии тока сверхпроводимости в отсутствии действия управляющего фактора (вентиль открыт), и исчезновении сверхпроводящего состояния под действием управляющего фактора (ток отсутствует - вентиль закрыт). В традиционной электронике давно известно, что выполнение логической или иной функциональной обработки информации можно проводить на резистивных схемах, однако точность и стабильность выполнения заданных преобразований не соответствуют современным требованиям [10]. Схемотехника логических и иных элементов на эффекте Джозефсона страдает теми же недостатками [2].

Аналогичная картина наблюдается и в области создания болометрических приемников теплового излучения. Их принцип действия также основан на исчезновении сверхпроводимости при воздействии на приемник теплового излучения [2], т.е. на изменении сопротивления, как и в традиционных болометрах, хотя при этом возникает целый ряд технических преимуществ.

Неизбежная логика исследований привела исследователей к открытию ряда эффектов, существующих в области сверхпроводящего состояния, т.е. в условиях, когда при сохранении основного свойства – сверхпроводимости, дополнительно наблюдаются новые физические явления. При этом экспериментальные данные свидетельствуют о наличии явных аномалий, которые нельзя объяснить изменением сопротивления в зоне сверхпроводящего состояния, т.е. когда сопротивление пленки оставалось предельно малым, оно не может испытывать существенных изменений.

Первоначально в экспериментах при изучении комплексного воздействия нескольких физических факторов на исследуемый материал схемы считывания информации строились таким образом, что выходной сигнал интерпретировался как изменение сопротивления сверхпроводящей пленки [11], наблюдаемое при температурах существования сверхпроводящего состояния, что свидетельствовало об определенной противоречивости данной интерпретации результатов экспериментальных исследований.

Изменение методологии экспериментов когда высокотемпературный сверхпроводящий материал находился под воздействием двух физических полей: температурного поля, характеризующегося температурой T , и электрического поля, характеризующегося током смещения $I_{см}$ позволило зарегистрировать изменения шумового отклика материала, которые можно регистрировать в виде спектральной плотности напряжения шума $U_{ш}$ [12].

В конечном счете, пиковые изменения выходного сигнала в зоне сверхпроводимости были интерпретированы как изменения шумовых свойств с наличием аномального участка падения шума с ростом температуры в области существования сверхпроводящего состояния. Зависимость положения максимума шумового напряжения в сверхпроводящей пленке от мощности падающего теплового излучения позволила реализовать, по существу, неболометрическое считывание информации о величине теплового излучения [13, 14].

Впоследствии экспериментальным путем было обнаружено ещё одно аномальное поведение другого физического параметра - скорости распространения ультразвуковых колебаний в зоне высокотемпературной сверхпроводимости [15]. Однако этот эффект не нашел практического применения.

Что касается необходимости решения четвертой задачи – создания технологии мультиплицирования и интеграции сверхпроводящих схем в одном кристалле, то её решение непосредственно связано с поиском соответствующих материалов, в которых имеют место альтернативные (аномальные) эффекты проводимости.

Надо признать, что известные на сегодняшний день низкотемпературные и высокотемпературные сверхпроводники не позволяют решить первую и четвертую задачи. Этим объясняется постоянный поиск новых материалов, которые отвечали бы требованиям и возможностям серийной микроэлектронной технологии.

В 2008 году был открыт новый класс высокотемпературных сверхпроводников – допированных фтором оксиарсенидов железа с обобщенной формулой $\text{LaO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$. Они могут иметь как монокристаллическую (технология - метод кристаллизации в расплаве), так и поликристаллическую структуру (технология - метод твердофазного синтеза) [16]. Первый обнаруженный материал этого класса имел $T_c = 26$ К, затем были обнаружены материалы этого класса, имеющие T_c до 55 К.

В данной работе для выявления новых составов с повышенной T_c применен метод прогнозирования составов с повышенной T_c , основанный на сценарном методе многомерного прогнозирования [17]. Прогноз проведен в семимерном пространстве параметров $\{k, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$, где k – формальный параметр (например, номер по порядку массива экспериментальных данных), x_1 – текущие значения T_c , x_2 - атомная масса лантаноида, x_3 – атомная масса кислорода с учетом доли $(1-x)$, x_4 – атомная масса фтора с учетом доли x , x_5 – атомная масса железа, x_6 - атомная масса мышьяка.

Таким образом, в качестве исходных данных для прогноза взяты атомные массы компонентов материала и соответствующие температуры сверхпроводящего перехода. Обоснованность выбора исходных данных базируется на известном изотопическом законе, устанавливающем взаимосвязь T_c и атомной массы M изотопов компонентов [18]

$$T_c \approx C \cdot M^{-\alpha},$$

где C – константа, не зависящая от T_c и M , α – константа, рассчитываемая по экспериментальным данным T_c для веществ, в которых использованы изотопы компонентов по формуле

$$\alpha = -\frac{M}{\Delta M} * \frac{\Delta T_c}{T_c}.$$

Если α равно или близко к 0,5, то в данном материале куперовские пары (сверхпроводимость) возникают за счет электрон-фононного притяжения, принятого в классической квантовой теории, поэтому значение α принято считать тестом на роль фононов в создании сверхпроводимости.

В противном случае сверхпроводимость вызвана иным механизмом. В железистых сверхпроводниках проявление изотопического закона приводит к аномальному отрицательному диапазону значений параметра α (- 0,12 - - 0,37). По мнению авторов работы [19] в железосодержащих высокотемпературных сверхпроводниках реализуется аномальный механизм объединения куперовских пар: смесь «более сложного» электрон-фононного и обменного взаимодействий.

Метод прогнозирования основан на базе знаний, включающей полную систему многомерных математических моделей, получаемую на основе анализа многомерных исходных данных. В нашем случае математические модели оригинальны и позволяют реализовать итеративный алгоритм установления устойчивых сочетаний параметров вещества в принятом пространстве, называемых сценариями. Для принятой размерности пространства число сценариев составляет 46656.

В отличие от работы [17], в которой прогнозирование велось во времени, которое было первым параметром рабочего пространства, в данной статье прогнозирование нужно вести по температуре T_c (параметр x_2). Проблема в данном случае состоит в том, что значения температуры T_c не являются регулярными в отличие от значений времени в работе [17]. Поэтому введен формальный регулярный параметр k , который в алгоритме прогнозирования формально нарастает как время в работе [17]. В этом случае формально применяется тот же алгоритм. Отличие прогноза в данной работе состоит в том, что из всего множества сгенерированных сценариев для очередного значения формального параметра k мы будем отбирать те составы веществ, которые соответствуют физической реализуемости по атомным массам компонентов. Для обеспечения отбора физически реализуемых составов в алгоритме сформированы следующие ограничения для прогнозируемых составов на k – м шаге прогнозирования:

$$\begin{aligned} x_{1k} &> x_{1l}, \\ (x_{6k} - A_{As}) &\leq \delta_{As}, \\ (x_{2k} - A_{Fe}) &\leq \delta_{Fe}, \\ \left\{ \left(\frac{x_{4k}}{A_F} \right) - \left(1 - \frac{x_{1k}}{A_{La}} \right) \right\} &\leq \delta_x, \end{aligned}$$

где x_{1l} – наибольшая температура T_c из экспериментальных данных,

A_{As} , A_{Fe} , A_F , A_{La} – атомные массы мышьяка, железа, фтора и лантаноида соответственно,

δ_{As} , δ_{Fe} , δ_x – допустимые пределы на расхождение для значений параметров x_5 , x_6 и атомных масс мышьяка и железа соответственно, а также для доли x допирования фто-

ра в состав вещества, вычисленной двумя способами на основе значений параметров x_3 и x_4 .

На параметр x_2 (атомная масса лантаноида) никаких ограничений не наложено, поскольку, как следует из экспериментальных данных (табл. 2 строки 1 – 12), это могут быть атомные массы разных металлов: гадолиния, диспрозия, лантана, неодима, празеодима, самария, тербия или церия.

Таблица 2

Составы и характеристики сверхпроводящих пятикомпонентных оксиарсенидов редкоземельных и переходных металлов (1111-фазы)

		x	T _c	Ln	O _{1-x}	F _x	Fe	As
1	LaO _{1-x} F _x FeAs, x = 0,05-0,12	0,12	26	138,9055	14,07947	2,279808	55,8	74,9
2	SmO _{0,93} F _{0,07} FeAs	0,07	36	150,36	14,87944	1,329888	55,8	74,9
3	GdO _{1-x} F _x FeAs, x = 0,12-0,17	0,17	36,6	157,25	13,2795	3,229729	55,8	74,9
4	CeO _{1-x} F _x FeAs, x = 0-0,20	0,2	41	140,116	12,79952	3,799681	55,8	74,9
5	SmO _{0,90} F _{0,10} FeAs	0,1	43	150,36	14,39946	1,89984	55,8	74,9
6	DyO _{1-x} F _x FeAs, x = 0-0,2	0,2	45,4	162,5	12,79952	3,799681	55,8	74,9
7	TbO _{1-x} F _x FeAs, x = 0-0, 2	0,2	45,9	158,9253	12,79952	3,799681	55,8	74,9
8	NdO _{0,82} F _{0,18} FeAs	0,18	50	144,24	13,11951	3,419713	55,8	74,9
9	NdO _{0,9} F _{0,1} FeAs	0,1	51	144,24	14,39946	1,89984	55,8	74,9
10	PrO _{0,89} F _{0,11} FeAs	0,11	52	140,9077	14,23947	2,089824	55,8	74,9
11	NdO _{0,90} F _{0,10} FeAs	0,1	53	144,24	14,39946	1,89984	55,8	74,9
12	SmO _{0,90} F _{0,10} FeAs	0,1	55	150,36	14,39946	1,89984	55,8	74,9
13	SmO _{0,885} F _{0,115} FeAs	0,115	56,2	150,36	14,15947	2,184816	55,8	74,9
14	PrO _{0,887} F _{0,113} FeAs	0,113	57,5	140,9077	14,19147	2,14682	55,8	74,9
15	PmO _{0,892} F _{0,108} FeAs	0,108	57,8	145	14,27146	2,051828	55,8	74,9
16	DyO _{0,885} F _{0,115} FeAs	0,115	57,9	162,5	14,15947	2,184816	55,8	74,9
17	EuO _{0,892} F _{0,108} FeAs	0,108	58,3	151,964	14,27146	2,051828	55,8	74,9
18	EuO _{0,878} F _{0,122} FeAs	0,122	58,6	151,964	14,04747	2,317805	55,8	74,9
19	EuO _{0,877} F _{0,123} FeAs	0,123	59,1	151,964	14,03147	2,336804	55,8	74,9
20	GdO _{0,886} F _{0,114} FeAs	0,114	59,5	157,25	14,17547	2,165818	55,8	74,9
21	SmO _{0,874} F _{0,126} FeAs	0,126	61,9	150,36	13,98348	2,393799	55,8	74,9
22	SmO _{0,875} F _{0,125} FeAs	0,125	62,1	150,36	13,99948	2,3748	55,8	74,9
23	EuO _{0,883} F _{0,117} FeAs	0,117	62,6	151,964	14,12747	2,222813	55,8	74,9

Прогнозирование составов веществ с повышенной температурой T_c реализуется, по существу, поисковой системой, которая выдает составы с повышенной температурой T_c , из которых необходимо дополнительно отобрать физически реализуемые со значениями параметра x_2 , соответствующими ближайшему с заданной погрешностью материалу из группы лантаноидов. Отобранные новые составы включались в исходный набор экспериментальных данных и процесс поиска вновь повторялся. В результате были получены данные составов веществ, представленные в табл. 2 (строки 13-23 – прогнозные данные). Прогноз позволил выявить 11 новых составов разных материалов указанного класса с температурами T_c в диапазоне (55 К – 62,6 К).

Как видно из табл. 2 наиболее представительной группой и в экспериментальных данных (3 состава) и в результатах прогнозирования (3 состава) оказались материалы на основе самария (рис. 3).

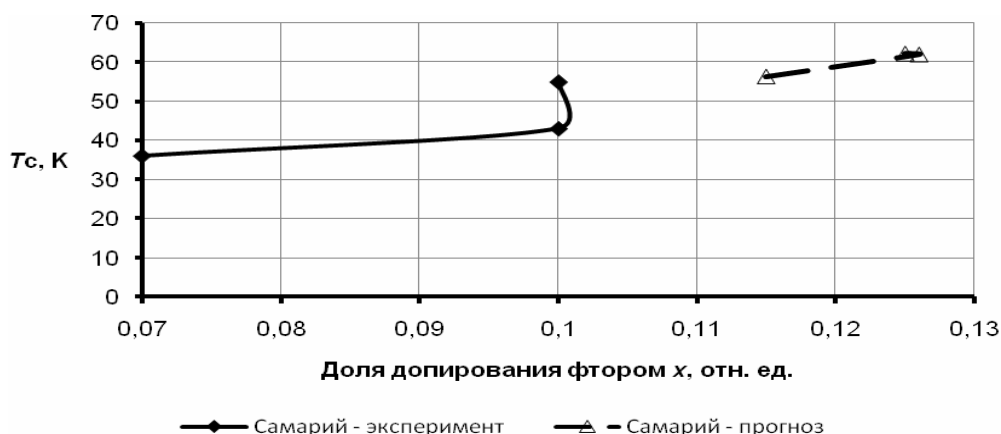


Рис. 3. Зависимость температуры T_c от доли допирования x фтором в сверхпроводящих материалах на основе самария

Самой представительной в прогнозных данных оказалась группа из 4-х составов материалов на основе европия (рис. 4), хотя экспериментальные данные по сверхпроводимости веществ с этим металлом вообще отсутствуют.

Прогнозных составов на основе неодима найти не удалось совсем, хотя имеются экспериментальные данные о сверхпроводимости 3-х составов веществ на основе этого металла. Прогноз материалов на основе гадолиния и диспрозия дал по одному новому составу соответственно.

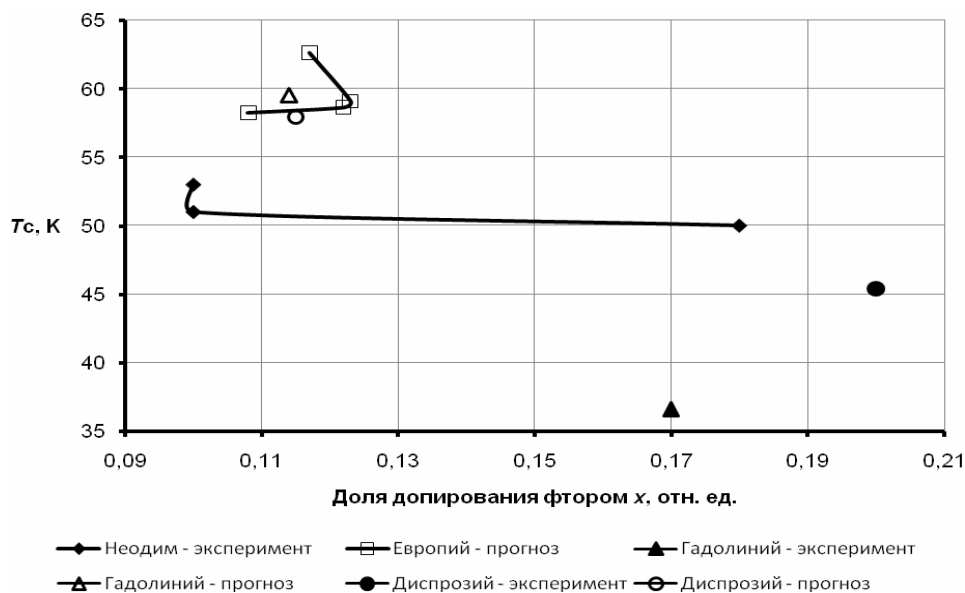


Рис. 4. Зависимость температуры T_c для обнаруженных и прогнозируемых сверхпроводящих материалов на основе гадолиния, диспрозия, неодима и европия

Разработанный метод прогнозирования составов сверхпроводящих веществ с повышенной температурой перехода в сверхпроводящее состояние может быть применен и для других классов материалов, по которым имеются достаточно обширные экспериментальные данные по составам и температурам T_c .

Применение данного метода прогнозирования новых составов сверхпроводящих веществ может существенно ускорить поиск и исследования сверхпроводящих материалов не только с повышенными температурами перехода в сверхпроводящее состояние, но с другими заданными свойствами, определенными областями применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Черноплеков, Н.А.* Сверхпроводниковые технологии: современное состояние и перспективы практического применения. // Вестник Российской академии наук, 2001, том 71, №4, С. 303-319.
2. *Алфеев, В.Н.* и др. Интегральные схемы и микроэлектронные устройства на сверхпроводниках. – М.: Радио и связь, 1985. – 232 с.
3. *Колесников, Д.П.* и др. Оптимизация режимов работы интегрального многоэлементного сверхпроводящего болометра. В кн. Тепловые приемники излучения. Л.: ГОИ, 1981, С. 19 – 20.
4. *Миропольский, З.Л.* и др. Гидродинамика и теплообмен в сверхпроводящих устройствах. М.: Наука, 1987. 288 с.
5. *Bednorz, J G, Müller K.A.* Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System. // Zeitschrift für Physik. B. Condensed Matter, 64, 1986 S. 189 193/
6. Superconductor News. <http://www.superconductors.org/265K.htm>.
7. *Пашицкий, Э.А.* О механизме высокотемпературной сверхпроводимости в соединении $(\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x)_{1-y}\text{CuO}_2$ с «бесконечным» числом купратных слоев. // Письма в ЖЭТФ, 1992, том 56, вып. 7, С. 364-369.
8. Record Superconductivity Approaches 265 K. <http://www.superconductors.org/265K.htm>.
9. Сайт Всероссийского научно-исследовательского института кабельной промышленности. Дорожная карта по ВТСП кабелям. <http://vniikp.ru>.
10. *Маклюков, М.И., Протопопов В.А.* Применение аналоговых интегральных микросхем в вычислительных устройствах. М.: Энергия, 1980. – 100 с.
11. *Вышеславцев, П.П.* и др. Разрушение сверхпроводимости оптическим излучением и неравновесные резистивные состояния в пленках высокотемпературного сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ // ЖЭТФ, 1991 т.99, вып. 3, С. 911 – 928.
12. *Бандурян, Б.Б., Гапонов С.В., Дмитренко И.М.* и др. Болометрические и шумовые свойства ВТСП структур. // Физика низких температур, 1990, т. 16, № 1, с. 70-79.
13. *Голубь, Б.И., Гусев А.Н.* Математическая модель ВТСП преобразователя с временным способом съема информации. // Тепловидение № 13: Межотраслевой сб. научн. тр. - М.: МИРЭА, 2000. С. 40-50.
14. *Голубь, Б.И., Гусев А.Н., Сигов А.С.* Новые физическая и информационная технологии построения широкоспектральных измерителей ИК-излучений на высокотемпературных сверхпроводниках для систем мониторинга различных объектов. Электроника и информатика - XXI век. Третья МНТК. Тезисы докладов. - М.: МИЭТ, 2000,- С. 303-304.
15. *Переpečко, И.И., Данилов В.А.* К вопросу об акустических свойствах высокотемпературного сверхпроводника. В материалах МНТК «Тонкие пленки и слоистые структуры», Пленки-2002, Часть 2. М.: МИРЭА, 2002. – С. 113 – 117.

16. Ивановский, А.Л. Новые высокотемпературные сверхпроводники на основе оксиарсенидов редкоземельных и переходных металлов и родственных фаз: синтез, свойства и моделирование // УФН, 2008, т. 178, № 12, С. 1273-1306.
17. Гусев, А.Н. Обнаружение полиномиального алгоритма решения NP задачи многомерного прогнозирования в режиме параллельных вычислений. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Физика, математика», вып. 2. М.: МГОУ. - 2010. С. 63-75.
18. Maxwell, E. Isotope Effect in the Superconductivity of Mercury // Phys. Rev. 1950, 78, P. 477-477.
19. Parasharam, M. Shirage, Kunihiro Kihou, Kiichi Miyazawa, Chul-Ho Lee, Hijiri Kito, Hiroshi Eisaki, Takashi Yanagisawa, Yasumoto Tanaka, Akira Iyo. [Inverse Iron Isotope Effect on the Transition Temperature of the \(Ba,K\)Fe₂As₂ Superconductor](#). // Phys. Rev. Lett. 2009, 103, 257003.

IDENTIFICATION OF THE PROPERTIES OF SUPERCONDUCTIVITY AND FORECASTING NEW COMPOSITIONS-PILLAR OKSIARSENIDY WITH FEVER IN SUPERCONDUCTIVITY

Gusev A.

*Moscow region state university
10a, Radio st., Moscow, 105005, Russia*

Abstract. This article provides information on substances with a record high temperature superconductivity transition, a brief overview of the use of superconducting substances in the field of power electronics and microelectronics. Based on the identity of the superconducting properties of a new class of iron superconducting materials and perform prediction of compositions of these substances with temperature superconducting transition from 55 to 62.5 k.

Key words: high-temperature superconductivity, abnormal effects in superconducting States, by the isotopic effect in superconductors, identification, prediction, transition temperature superconductivity.

УДК 55.550.370:379

К ВОПРОСУ О КОСВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ В НИЗКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ С ИСКУССТВЕННЫМ ИСТОЧНИКОМ ТОКА