

УДК 537.312.62+541.123.2+621.315.592

Управление электрическими свойствами эвтектической композиции полупроводник—сверхпроводник

Г. И. Исаков

Институт физики Национальной академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Исследовались электрические свойства эвтектической композиции полупроводник—сверхпроводник ($GaSb-V_2Ga_5$), где при направленной кристаллизации V_2Ga_5 в матрице $GaSb$ формируется в виде ориентированных сверхпроводящих вискеро́в. Показано, что в зависимости от угла между направлением тока и вискеро́в электрические свойства различных образцов из одного материала или же одного образца управляемы. В зависимости от скорости выращивания композиции плотность вискеро́в, расстояния между ними, их диаметры, критическая плотность сверхтока в расчете на один вискер, критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние также управляемы.

Одним из актуальных вопросов физики твердого тела, научного и промышленного приборостроения является управление свойствами материалов. В этой связи выращивание направленно-кристаллизованных анизотропных эвтектических композиций типа полупроводник—металл [1—5], композиционных сверхпроводни-

ков [6—9], монокристаллов с управляемой анизотропией [10—12] и исследование их физических свойств представляют большую научную и практическую значимость. Следует отметить, что среди многочисленных эвтектических композиций типа металл—металл, металл—диэлектрик композиции типа полупроводник—металл зани-

мают особое положение, что связано с их широким практическим применением при создании гальваномангнитных, термомагнитных, оптических, тензометрических и других приборов [13—21].

В работе [22] нами установлена возможность управления тензометрическими параметрами эвтектической композиции полупроводник—металл.

В последние годы уделяется большое внимание зависимости электрофизических свойств от угла разориентации в ВТСП бикристаллических джозефсоновских переходах [23—25].

Среди многочисленных джозефсоновских переходов особое место занимают контакты типа сверхпроводник—полупроводник—сверхпроводник (S—Sm—S). Это прежде всего связано с возможностью управления параметрами полупроводниковой прослойки путем легирования, с воздействием внешних электрических и магнитных полей [26—29].

Об обнаружении эффекта Джозефсона в эвтектической композиции полупроводник—сверхпроводник уже сообщалось [30].

В настоящей работе приводятся оригинальные результаты по исследованию сверхпроводимости и управлению свойствами эвтектической композиции полупроводник—сверхпроводник (GaSb—V₂Ga₅) различными способами. Результаты данной работы могут быть использованы как при создании аналогичных низкотемпературных, так и высокотемпературных сверхпроводников и джозефсоновских структур на их основе.

Экспериментальные результаты

Получение эвтектической композиции. Исходный материал GaSb был получен прямым сплавлением Ga и Sb, взятых в стехиометрическом соотношении. Полученный расплав подвергался 20-кратной горизонтальной зонной очистке, а полученный слиток имеет p -тип проводимости ($\rho = 1,7 \cdot 10^{17}$ см⁻³). Эвтектическая композиция GaSb—V₂Ga₅ была получена прямым сплавлением GaSb, очищенного зонной плавкой, и V, Ga, Sb, взятых в стехиометрических соотношениях для получения соединения V₂Ga₅. После расплавления эвтектической композиции направленно-кристаллизованный материал был получен вертикальным методом Бриджмена.

Морфологические исследования образцов проводились с помощью микроскопа МИМ-8М и электронного микроскопа. На рис. 1, а, б представлена микрофотография поверхности эвтектической композиции GaSb—V₂Ga₅ (полученной

при скорости роста $v = 7$ см/ч) параллельно (а) и перпендикулярно направлению роста (б), соответственно. Из рис. 1 видно, что металлическая фаза V₂Ga₅ в матрице GaSb формируется в виде стержней, ориентированных преимущественно по направлению движения фронта кристаллизации.

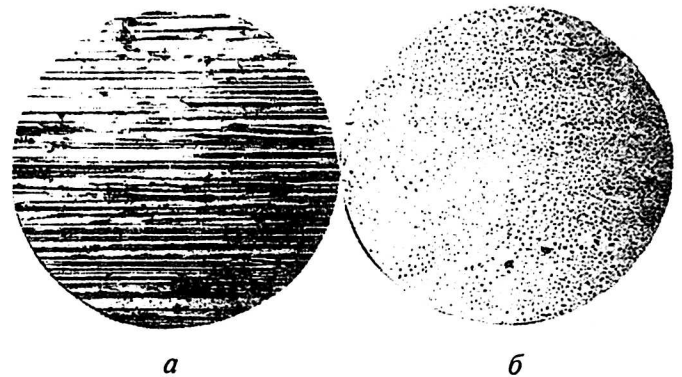


Рис. 1. Микрофотографии поверхности эвтектики GaSb—V₂Ga₅ (x200) ($v = 7$ см/ч): а — параллельно вискерам V₂Ga₅; б — перпендикулярно

Наши результаты по металлографическим исследованиям показали, что в эвтектических композициях полупроводник—металл, и, в частности, в эктектиках A^{III}B^V—металл, полученных направленной кристаллизацией, число игл, стержней, пластинок или же других включений на единичную площадь поперечного сечения велико (10^3 — 10^4 мм⁻²), и при росте композиции всегда имеет место некоторое нарушение регулярной структуры. Среднестатистические оценки, проведенные в настоящей работе, показали, что для композиции GaSb—V₂Ga₅ (полученной при скорости роста $v = 7$ см/ч) плотность стержней V₂Ga₅ на единицу площади поперечного сечения составляла $2 \cdot 10^4$ мм⁻², длина стержней — от 500 мкм до размера образца толщиной 1—2 мкм (см. рис. 1, а, б).

Из рис. 1 видно, что имеет место некоторое нарушение плотности металлических включений, имеются также некоторые пустые области. Поэтому мы исследовали различные участки поверхности образца из GaSb—V₂Ga₅ (полученной при скорости роста $v = 7$ см/ч). Оказалось, что несмотря на более регулярную эвтектическую структуру GaSb—V₂Ga₅, наблюдаются и нерегулярные участки распределения металлической фазы. На рис. 2, а, б представлены самые наилучшие участки поверхности образца из эвтектики GaSb—V₂Ga₅. Из рис. 2 явно видно, что нарушение регулярности эвтектики происходит и по направлению движения фронта кристалли-

зации, и перпендикулярно направлению движения фронта.

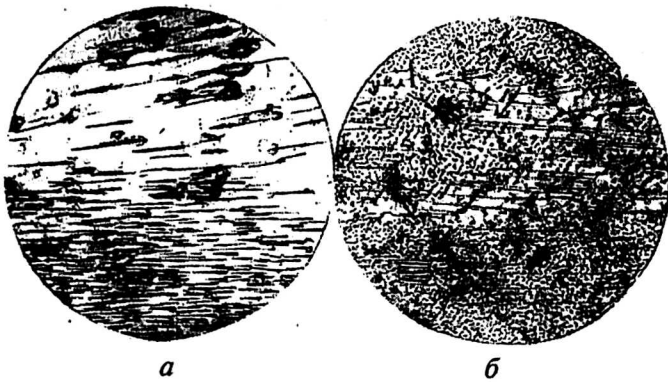


Рис. 2. Микрофотографии наисудших участков поверхности эвтектики GaSb—V₂Ga₅ с нарушением регулярности (x200) ($v = 7$ см/ч):

а — параллельно направлению движения фронта кристаллизации; б — перпендикулярно

Нарушение регулярности роста эвтектической композиции GaSb—V₂Ga₅ четко наблюдается при исследовании поверхности электронным микроскопом. На рис. 3 представлены электронно-микроскопические снимки поверхности эвтектической композиции вдоль направления роста металлических стержней. На рис. 3, а показан только один металлический стержень с увеличением в 7000 раз (полученный при скорости роста $v = 7$ см/ч). Видно, что даже одиночный стержень растет нерегулярно. Диаметр стержня не везде одинаков. Имеются области с явными сужениями толщины. На рис. 3, б изображена поверхность эвтектики с увеличением в 3000 раз; кроме стержня, изображенного на рис. 3, а, видны и еще два стержня. Один из них находится в нижнем левом углу, другой — в правом верхнем углу микрофотографии. На правой стороне среднего стержня видна пустая искривленная канавка, где раньше был расположен полностью протравленный металлический стержень при обработке поверхности травителем. Из микрофотографий также видно, что вдоль роста стержней металлической фазы межфазные границы полупроводник—металл сильно изменяются. Межфазные поверхности искривляются, появляются различные дефекты на поверхности металлических стержней и полупроводниковой прослойки. В области сужения диаметр металлических стержней составляет примерно 0,5 мкм. Нарушение регулярности эвтектического роста и появление областей с сужением на стержнях дают эффект Джозефсона [30] в этой композиции.

Отметим, что сверхпроводящая фаза V₂Ga₅ составляет 4 об. % эвтектической композиции GaSb—V₂Ga₅.



Рис. 3. Микрофотографии поверхности эвтектики GaSb—V₂Ga₅ ($v = 7$ см/ч), снятые на электронном микроскопе вдоль направления роста вискеро V₂Ga₅: а — один вискер (x7000); б — три вискера (x3000)

Для измерения температурной зависимости удельного сопротивления ρ при различных углах между направлением электрического тока I и вискеро X из эвтектической композиции были вырезаны образцы в виде прямоугольного длинного параллелепипеда. Углы α между направлением вискеро X и высотой параллелепипеда h были следующие: $\alpha = 0; 15; 30; 45; 60; 75; 90^\circ$. На рис. 4, А, В, С показаны схематические изображения образцов с $\alpha = 0; 30; 90^\circ$, соответственно.

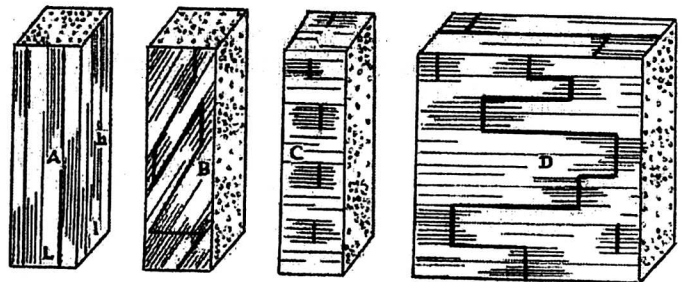


Рис. 4. Схематические представления образцов из эвтектической композиции GaSb—V₂Ga₅:

А — угол α между направлением электрического тока и направлением вискеро равен нулю. Сверхпроводящий кластер бесконечный; В — $\alpha = 30^\circ$, сверхпроводящий кластер бесконечный; С — $\alpha = 90^\circ$, дискретные сверхпроводящие области состоят из джозефсоновских контактов типа сверхпроводник—полупроводник—сверхпроводник (S—Sm—S); D — α -произвольный, сверхпроводящий кластер бесконечный

На рис. 5 представлены температурные зависимости удельного сопротивления вышеуказанных образцов. Видно, что в образцах с $\alpha = 90; 75; 60^\circ$ в интервале 300—4,1 К удельное сопротивление имеет полупроводниковый ход. С уменьшением угла α температурная зависимость ρ ослабевает. Для образца с $\alpha = 45^\circ$ ρ очень слабо зависит от температуры. При $T = 4,1$ К ρ рез-

ко падает. С уменьшением α величина падения ρ увеличивается.

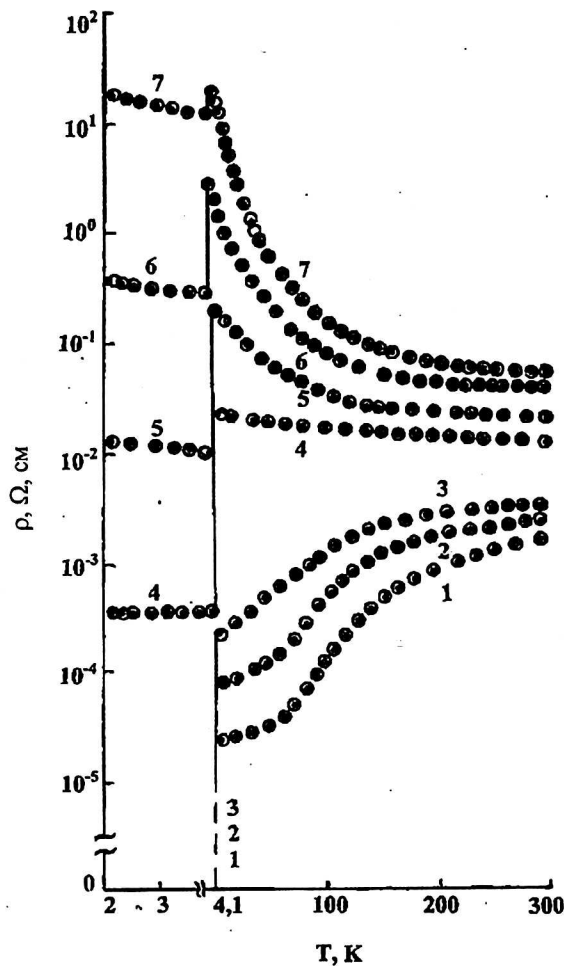


Рис. 5. Температурные зависимости удельного сопротивления ρ образцов из эвтектической композиции при различных углах $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ в форме длинного параллелепипеда, изображенного на рис. 4, А, В, С;

1 — $\alpha = 0^\circ$; 2 — $\alpha = 15^\circ$; 3 — $\alpha = 30^\circ$; 4 — $\alpha = 45^\circ$;
5 — $\alpha = 60^\circ$; 6 — $\alpha = 75^\circ$; 7 — $\alpha = 90^\circ$

В отличие от вышеуказанных, образцы с $\alpha = 30^\circ$; 15° ; 0° при $T = 4,1$ К переходят в сверхпроводящее состояние и температурные зависимости ρ этих образцов имеют металлические ходы.

Из эвтектической композиции была вырезана пластинка, две боковые грани которой были параллельны направлению кристаллизации (направлению вискеро́в) и имели форму квадрата (см. рис. 4, D). Измерения сопротивления такой пластины преследовали цель выяснить, при каком угле между направлением электрического тока и направлением вискеро́в исчезает сверхпроводимость. Вопреки ожиданию пластинка при всех направлениях тока и вискеро́в переходила в сверхпроводящее состояние около температуры $T = 4$ К (рис. 6).

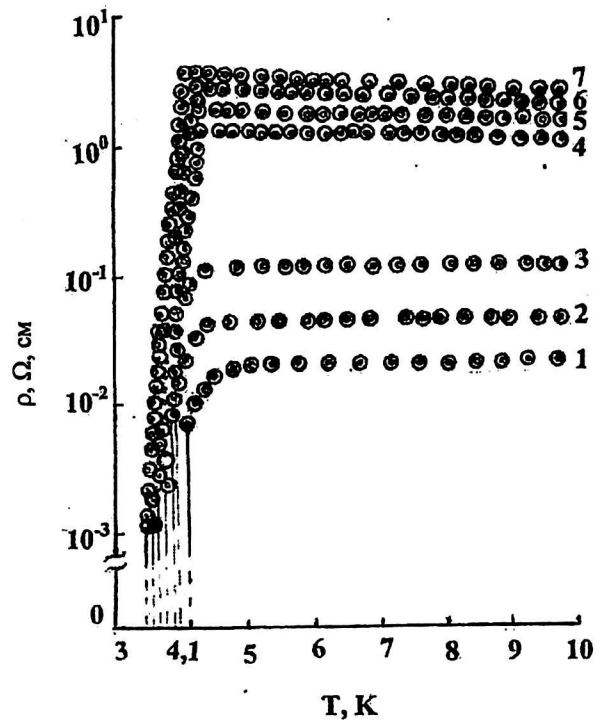


Рис. 6. Температурные зависимости удельного сопротивления ρ пластины при $L = h$ и различных углах:

1 — $\alpha = 0^\circ$; 2 — $\alpha = 15^\circ$; 3 — $\alpha = 30^\circ$; 4 — $\alpha = 45^\circ$;
5 — $\alpha = 60^\circ$; 6 — $\alpha = 75^\circ$; 7 — $\alpha = 90^\circ$

Вертикальным методом Бриджмена при различных скоростях движения фронта кристаллизации ($v = 0,85$; $2,8$; 7 ; 22 ; 70 ; 200 см/ч) были получены эвтектические композиции GaSb— V_2 Ga₅. Получение эвтектик при различных скоростях роста интересны тем, что изменение скорости роста может повлиять на морфологию эвтектик, на геометрические размеры металлических вискеро́в. Зависимость расстояния между вискеро́рами R от скорости кристаллизации эвтектики выражается формулой [31]:

$$R^2 v = \text{const.}$$

Полученные с помощью микроскопа данные о скорости роста (v), плотности вискеро́в (n), их диаметрах (d) и расстояниях между ними (R) и критической плотности (J) в расчете на один вискер представлены в таблице.

v , см/ч	n , 10^4 мм ⁻²	d , мкм	R , мкм	J , А/см ²
0,85	0,4	6	8	$\cdot 10^5$
2,8	1,2	3	6	10^4
7	2	2	4–5	10^3
22	6	1	3–4	$(3–4) \cdot 10^2$
70	10–20	0,3–0,5	2–4	$(1–2) \cdot 10^2$
200	—	—	—	—

Из эвтектических композиций, полученных при различных скоростях роста, были вырезаны

образцы в форме длинного прямоугольного параллелепипеда, высота h которого была параллельна вискерам.

На рис. 7 в представленных композициях с уменьшением скорости роста материала критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние T_c растет, удельное сопротивление же композиции уменьшается.

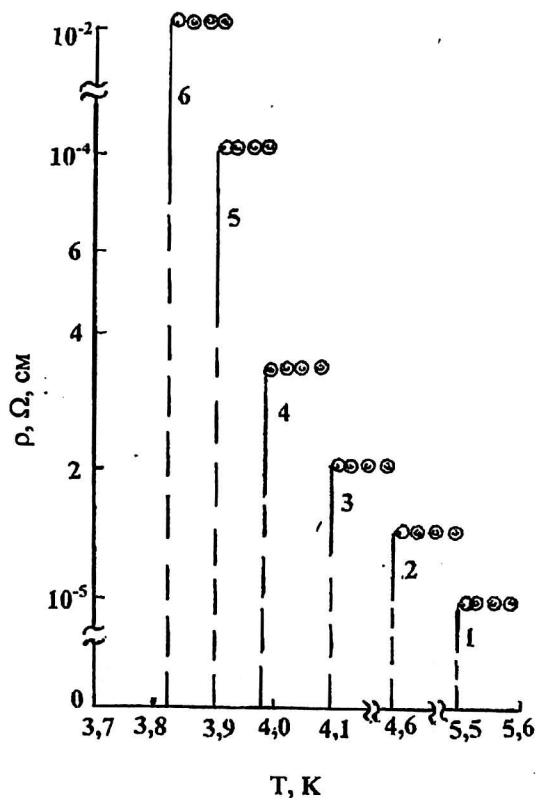


Рис. 7. Фрагменты температурных зависимостей удельного сопротивления ρ эвтектической композиции при различных скоростях кристаллизации:

- 1 — $v = 0,85$ см/ч; 2 — $v = 2,8$ см/ч; 3 — $v = 7$ см/ч;
- 4 — $v = 22$ см/ч; 5 — $v = 70$ см/ч; 6 — $v = 200$ см/ч

Обсуждение результатов

Из вышеприведенных результатов ясно, что электрофизические свойства эвтектической композиции полупроводник—сверхпроводник управляемы изменением угла между направлением вискеров и электрическим током, формой вырезки образца и скоростью получения композиции.

• При перпендикулярности электрического тока к вискерам ($l \perp X$, $\alpha = 90^\circ$; см. рис. 5, кривая 7) полупроводниковый ход температурной зависимости обусловлен тем, что параллельно расположенные вискеры V_2Ga_5 составляют всего 4 об. %, и они мало влияют на свойства полупроводниковой матрицы GaSb. Ослабление полупроводниковой температурной зависимости ρ и ее уменьшение с уменьшением угла α до 45° , несомненно, обусловлено возрастанием роли вис-

керов металлической фазы в проводимости (см. рис. 1, 4, 5).

В образцах с $\alpha = 30; 15; 0^\circ$ по сравнению с вышеприведенными происходит как количественное, так и качественное изменение ρ . Образцы переходят в сверхпроводящее состояние. Температурные зависимости удельного сопротивления обнаруживают металлический ход. Несомненно, что в этих случаях при $T = 4,1$ К появляются сверхпроводящие пути по всей протяженности образца. Выше температуры сверхпроводящего перехода эти сверхпроводящие пути ответственны за металлическую проводимость образцов. Резкое падение удельных сопротивлений образцов с $\alpha = 90; 75; 60; 45^\circ$ при $T = 4,1$ К и увеличение этих падений по величине связаны с образованием в композиции дискретных сверхпроводящих путей, длина и число которых с уменьшением α растут.

Металлографические исследования показывают, что большинство вискеров, сравнимых с размерами образцов, имеют бесконечную длину. Поэтому в прямоугольном длинном параллелепипеде из эвтектической композиции GaSb— V_2Ga_5 при параллельности электрического тока (l) к вискерам (X) сверхток в основном протекает по всем вискерам, пронизывающим образец (см. рис. 4, А). Однако, как следствие локального нарушения структуры, дефектов решетки, температурных флуктуаций и т. п., наблюдаются и вискеры конечной длины, по всей протяженности роста композиции вблизи обрывающихся вискеров наблюдается рост новых. Поэтому, помимо протекания сверхтока по вискерам бесконечной длины, сверхток протекает также по близко расположенным вискерам через контакты типа сверхпроводник—полупроводник—сверхпроводник (S—Sm—S), когда последние отвечают требованиям джозефсоновских слабых связей.

В прямоугольном длинном параллелепипеде из эвтектической композиции GaSb— V_2Ga_5 в случае $l \perp X$ ($\alpha = 90^\circ$) в образце существуют только контакты типа S—Sm—S. По-видимому, в этом случае отсутствие перехода в сверхпроводящее состояние связано с большой толщиной полупроводниковой прослойки (4—5 мкм) между параллельными вискерами. Резкое падение ρ при температуре $T = 4,1$ К, а также микрофотографии поверхности образца свидетельствуют о том, что в образце появляются дискретные сверхпроводящие области, образующие джозефсоновские цепочки типа S—Sm—S—Sm—S... (см. рис. 4, С).

• Когда поверхность параллелепипеда приобретает форму квадрата в образце при $l \perp X$ и соответственно при всех углах α осуществляется переход в сверхпроводящее состояние. Перпен-

дикулярно направлению роста вискеро́в по всей протяженности образца появляются сверхпроводящие пути, пронизывающие образец (бесконечный кластер). На рис. 4, *D* показаны два бесконечных кластера, расположенных в направления вискеро́в (на верхнем основании образца) и поперек направления вискеро́в (на боковой поверхности образца). Оба кластера состоят из цепочки джозефсоновских контактов $S-Sm-S-Sm-S...$ и вискеро́в, соединяющих эти цепочки.

В направлении $I \parallel X$ бесконечные кластеры состоят как из вышеуказанной комбинации, так и вискеро́в длины образца.

Следует отметить, что эффект Джозефсона наблюдается как при $I \parallel X$ ($\alpha = 0^\circ$), так и при $I \perp X$ ($\alpha = 90^\circ$), если в последнем случае поперечные размеры образца L сравнимы с высотой h [30]. С другой стороны, диаметры вискеро́в не везде одинаковы (см. рис. 3). В области сужения вискеро́в диаметр d порядка длины когерентности ($d \approx 5 \cdot 10^{-5}$ см). Поэтому каждый вискер эвтектической композиции представляет собой последовательно соединенные микромостики переменной толщины.

На рис. 8 представлены схематические изображения бесконечного кластера, состоящего из пронизывающего образец вискера $S-S'-S-S'-S...$.

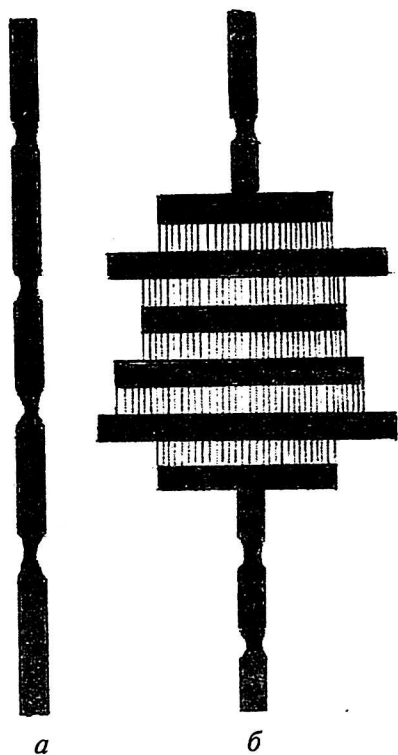


Рис. 8. Схематические изображения бесконечных кластеров: *a* — из одного вискера состоящего из цепочки микромостиков $S-S'-S-S'-S...$; *b* — из каскада контактов типа $S-Sm-S-Sm-S...$ и соединяющих их вискеро́в, состоящих из их цепочки $S-S'-S-Sm-S-S'-S...$
 ■ — вискер; ▨ — полупроводниковая прослойка между вискерами

Из рис. 6 видно, что сопротивление R пластинки, измеренное при различных углах ($\alpha = 0; 15; 30; 45; 60; 75; 90^\circ$), проявляет также сильную анизотропию. Видно, что в исследованном интервале температур кривые 1—3 ($\alpha = 0; 15; 30^\circ$) проявляют металлический характер, кривые же 4—7 ($\alpha = 45; 60; 75; 90^\circ$) проявляют слабый полупроводниковый ход. Несомненно, что при углах $\alpha = 0; 15; 30^\circ$ при переходе в сверхпроводящее состояние доминируют параллельные цепочки типа $S-S'-S-S'-S...$. При углах же $\alpha = 45; 60; 75; 90^\circ$ при переходе в сверхпроводящее состояние основную роль играют цепочки типа $S-S'-S-Sm-S-S'-S...$

Из рис. 6 также видно, что в интервале $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ с увеличением угла α переходы в сверхпроводящее состояние размываются и в интервале температур 3,5—4,1 К образцы находятся в резистивном состоянии. В образцах, наряду со сверхпроводимостью, существует и одноэлектронная проводимость. При $\alpha = 90^\circ$ с интервалом всего 0,6 К сопротивление образца падает на 4 порядка ($10^{-3} \leq R \leq 5 \cdot 10^0 \Omega$), и только после этого осуществляется полный переход в сверхпроводящее состояние.

Следует отметить, что при $\alpha = 0^\circ$ число параллельных бесконечных кластеров на единицу площади поперечного сечения композиции равно числу пронизывающих образец вискеро́в, и при скорости выращивания $v = 7$ см/ч составляет $n \approx 10^4$ мм⁻². При этом сверхток через площадь 1 мм² будет

$$I = i_1 + i_2 + \dots + i_n.$$

Если считать, что среднестатистические диаметры вискеро́в одинаковы, тогда

$$i_1 = i_2 = \dots = i_n;$$

$$I = ni. \quad (1)$$

Из рис. 6 видно, что вблизи критической температуры с увеличением угла α от 0 до 90° сопротивление пластинки возрастает на 2,5 порядка. Этот факт свидетельствует, что в интервале $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ с увеличением α число бесконечных кластеров уменьшается в 250 раз. С увеличением α происходит уменьшение числа бесконечных кластеров из цепочки $S-S'-S-S'-S...$ и замена их малочисленными кластерами $S-S'-S-Sm-S-S'-S...$

• В работе [32] нами было установлено, что величина теплопроводности эвтектической композиции $GaSb-V_2Ga_5$ управляема путем изменения скорости выращивания. Результаты настоящей работы показывают, что с уменьшением скорости выращивания эвтектической

композиции критические температуры перехода в сверхпроводящее состояние T_c увеличиваются (см. рис. 7).

В работе [33] В. Л. Гинзбургом приводится формула, позволяющая оценить влияние размера сверхпроводящих гранул на температуру перехода T_c

$$T_c = \theta \cdot \exp(-1/g\xi),$$

где $\xi = V_s/V$; $V_s = S_a$ — объем поверхностного слоя гранулы;

V — полный объем гранулы.

При различных скоростях роста v металлические вискеры в эвтектиках будут иметь различные размеры, и поэтому мы имеем набор значений ξ при прочих равных условиях.

Из приведенной выше таблицы видно, что с увеличением скорости кристаллизации v плотность вискеро́в увеличивается, их размеры уменьшаются, следовательно, уменьшаются площадь поверхности вискеро́в S , параметр ξ и T_c . Следует отметить, что T_c в GaSb— V_2Ga_5 выше, чем в чистом V_2Ga_5 ($T_c = 2-4,07$ K).

Ранее в работах [34, 35] также было показано, что температура перехода T_c эвтектик Al—Si(7,5 K), Al—Ge(1,69 K), Be—Si(9 K) превышает T_c чистых Al(1,3 K), Be(0 K).

Многочисленные исследования показали, что в эвтектических композициях полупроводник—металл межфазная граница сильно неоднородная. Поэтому существуют два сорта электронов: свободных в металлическом включении и локализованных на границе полупроводник—металл. В работе [36] отмечалось, что локальные поля могут привести к тому, что диэлектрическая постоянная вещества ϵ может принять отрицательное значение, что обуславливает притяжение электронов. По-видимому, локализованные электроны на границе полупроводник—металл будут играть роль вспомогательных электронов, индуцирующих притяжение между свободными электронами металлической фазы. Механизм индуцирования теоретически рассматривался в работе [37].

Из формулы (1) при $T = 2$ K мы оценили значение критической плотности тока в расчете на один вискер, используя вольтамперную характеристику образцов. Из таблицы видно, что с уменьшением скорости выращивания v эвтектической композиции от 70 до 0,85 см/ч, 100-кратному изменению v соответствует изменение на три порядка плотности критического тока. Такое изменение невозможно объяснить 10-кратным увеличением диаметра вискеро́в. С увеличением последнего на один порядок в бесконечных кластерах, состоящих из цепочки S—S'—S—S'—S..., увеличиваются также толщины многих джозеф-

соновских микромостиков. Многие из этих микромостиков перестают существовать. Остальные микромостики превращаются в мостики, отвечающие более сильной связи. По этой причине происходит повышение плотности критического тока с понижением скорости выращивания композиции.

Следует отметить, что в интервале скорости выращивания 0,85—22 см/ч вискеры в эвтектической композиции расположены более регулярно. При скорости 70 см/ч происходит сильное нарушение регулярности, при $v = 200$ см/ч — полное нарушение регулярности. По этой причине при $v = 200$ см/ч вблизи критической температуры значение ρ на два порядка больше, чем при $v = 70$ см/ч.

Заключение

В настоящей работе получены следующие основные результаты.

1. Электрические свойства различных образцов, вырезанных из одного слитка эвтектической композиции полупроводник—сверхпроводник, управляемы путем изменения угла α между направлением тока и вискерами. В образцах с $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ резкое падение удельного сопротивления ρ при $T = 4,1$ K обусловлено наличием сверхпроводящих кластеров конечных размеров. В образцах с $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ переход в сверхпроводящее состояние обусловлен бесконечным сверхпроводящим кластером.

2. Установлено, что в образцах в форме параллелепипеда в случае, если длина L (в направлении вискеро́в) равна или же превосходит высоту h (в направлении, перпендикулярном вискеро́в) ($L \geq h$), во всех направлениях электрического тока и вискеро́в (т. е. при всех α происходит переход в сверхпроводящее состояние. Такой переход при условии $L \geq h$ обусловлен образованием в образце бесконечных кластеров во всех направлениях. Бесконечный сверхпроводящий кластер состоит из каскада джозефсоновских контактов сверхпроводник—полупроводник—сверхпроводник (S—Sm—S) и соединяющих их вискеро́в, состоящих из цепочки микромостиков (S—S'—S). Одна полная цепочка бесконечного сверхпроводящего кластера выглядит следующим образом: S—S'—S—Sm—S—S'—S... В направлении $\alpha = 0^\circ$ доминируют бесконечные кластеры из цепочки S—S'—S—S'—S... В интервале $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ с увеличением α общее число бесконечных кластеров уменьшается. Увеличивается вклад каскада джозефсоновских контактов S—Sm—S—Sm—S... Электрические свойства одного образца в виде пластинки как выше, так

и ниже критической температуры перехода управляемы путем изменения угла α между направлением тока и вискерами.

3. Плотность вискеро́в, их диаметры, расстояние между ними в эвтектике GaSb—V₂Ga₅ управляемы путем изменения скорости v выращивания композиции в интервале $0,85 \leq v \leq 22$ см/ч.

4. Критическая температура перехода и критическая плотность сверхтока в расчете на один вискер управляемы путем изменения скорости выращивания композиции.

Выражаю благодарность за дружескую помощь сотруднику Харьковского физико-технического института М. А. Тихоновскому за электронно-микроскопические исследования поверхности эвтектики.

Литература

1. Алиев М. И., Исаков Г. И.// Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы, 1980. Т. 16. № 5. С. 782—786.
2. Алиев М. И., Исаков Г. И., Эминзаде А. Т.// Там же. 1985. Т. 21. № 11. С. 1890—1893.
3. Исаков Г. И., Алиев М. И., Эминзаде А. Т.// Там же. 1988. Т. 24. № 4. С. 682—684.
4. Алиев М. И., Исаков Г. И., Эминзаде А. Т.// Там же. № 3. С. 404—408.
5. Алиев М. И., Исаков Г. И., Эминзаде А. Т.// Там же. 1989. Т. 25. № 6. С. 926—928.
6. Гуревич А. В., Минц Р. Г., Рахманов А. Л.// Физика композиционных сверхпроводников. — М.: Наука, 1987. — 240 с.
7. Краснюк И. Б., Медведев Ю. В.// ЖТФ. 2001. Т. 71. В. 1. С. 9—15.
8. Ожогина В. К., Романовский В. П.// Там же. 1998. Т. 68. В. 12. С. 95—97.
9. Морозовский А. Е.// Письма в ЖТФ, 1991. Т. 54. В. 9. С. 496—498.
10. Turner W. I., Fisher A. S., Reese W. E.// Phys. Rev. 1965. V. 3. № 121. P. 759.
11. Samoilovich A. G., Nitsovich V. V., Nitsovich V. M.// Phys. Status Solidi. 1966. № 16. P. 459.
12. Гелич А. М., Пилат И. М.// Неорганические материалы, 2000. V. 4. № 36. P. 415.
13. Wagini H., Weiss H.// Solid-State Electronics, 1965. № 8. P. 241.
14. Weiss H.// Ibid, 1966. V. 9. № 4. P. 443—451.
15. Weiss H.// Met. Trans., 1971. V. 2. № 6. P. 1513—1521.
16. Uher C., Goldsmid H. J.// J. Physics D. 1972. № 8. P. 1478—1488.
17. Goldsmid H. J., Savvids N., Uher C.// Ibid. V. 5. № 7. P. 1352—1357.
18. Goldsmid H. J., Knittel T., Savvids N. et al.// J. Physics E, 1972. V. 5. № 4. P. 313—314.
19. Paul B., Weiss H., Wilhelm M.// Solid-State Electronics, 1964. V. 7. № 8. P. 835—841.
20. Paul B., Weiss H.// Ibid. 1968. V. 11. № 9. P. 979—982.
21. Алиев М. И., Джафаров З. А., Исаков Г. И. и др.// Изв. АН СССР. Сер. Неорг. материалы, 1989. V. 6. № 25. С. 1041.
22. Исаков Г. И.// Письма в ЖТФ, 1996. Т. 22. № 24. С. 70—74.
23. Кли́нский Ю. В., Степанов Е. А., Иванов З. Г. и др.// ФТТ, 2001. Т. 43. № 4. С. 581—586.
24. Alarco J. A., Olsson E.// Phys. Rev., 1995. B. 52. № 18. С. 13625—13630.
25. Winkler D., Zhang V. M., Nilsson P. A. et al.// Phys. Rev. Lett. 1994. V. 72. № 8. P. 1260—1263.
26. Асламазов Л. Г., Фистуль М. В.// ЖЭТФ, 1981. Т. 81. № 1(7). С. 382—397.
27. Асламазов Л. Г., Фистуль М. В.// Там же. 1982. Т. 83. № 3(7). С. 1170—1176.
28. Асламазов Л. Г., Фистуль М. В.// Там же. 1984. Т. 86. № 4. С. 1516—1526.
29. Schapers Th., Muller R. P., Kaluza A. et al.// Appl. Phys. Lett., 1999. V. 75. № 3. P. 391—393.
30. Алиев М. И., Исаков Г. И., Алиев Ф. Ю. и др.// ДАН СССР, 1989. Т. 306. № 3. С. 583—586.
31. Сомов А. И., Тихоновский М. А.// Эвтектические композиции. — М.: Металлургия, 1975. — 293 с.
32. Алиев М. И., Исаков Г. И., Исаева Э. А. и др.// ФТП, 1996. Т. 30. № 10. С. 1871—1875.
33. Гинзбург В. Л.// Письма в ЖЭТФ, 1971. Т. 14. № 10. С. 572—575.
34. Tsuei C. C., Johnson W. L.// Phys. Rev., 1974. V. 9. № 11. С. 4742—4751.
35. Ting C. S., Tatwar D. N., Ngai K. L.// Phys. Rev. Lett., 1980. V. 45. № 14. P. 1213—1216.
36. Давидов О. В., Максимов Е. Г.// УФН, 1981. Т. 135. № 3. С. 441—475.
37. Гейликман Б. Г.// Там же, 1966. Т. 88. № 2. С. 327—345.

Control of electrical properties of a semiconductor—superconductor eutectic composition

G. I. Isakov

Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Azerbaijan

Electrical properties of a semiconductor—superconductor (GaSb—V₂Ga₅) eutectic composition, where at directed crystallization V₂Ga₅ in a GaSb matrix is formed in the form of oriented superconducting whiskers, have been investigated. It is shown that depending on the angle between the current direction and whiskers, electrical properties of various samples of the same material, or one sample are controlled. Depending on the composition crystallization speed, whisker density, the distance between them, their diameters, critical supercurrent density per whisker, critical transition temperature in the superconducting state are also controlled.

* * *