

SiO_2/Si происходит в основном за счет переходного слоя (SiO_2)^{кр}, а также неокисленной поверхности кремния, вклад которой меньше.

Таким образом, методом отраженной ВГ показано наличие нецентросимметричного кристаллического переходного слоя (SiO_2)^{кр} толщиной порядка 5 Å, что свидетельствует о высоком пространственном разрешении метода, сравнимом с возможностями электронной микроскопии [6].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А х м а н о в С.А., Е м е л ь я н о в В.И., К о р о т е е в Н.И., С е м и н о г о в В.Н. // УФН. 1985. Т. 147. В. 4. С. 675-745.
- [2] А к ц и п е т р о в О.А., Б а р а н о в а И.М., И л ь и н с к и й Ю.А. // ЖЭТФ. 1986. Т. 91. В. 1. С. 257-297.
- [3] Е м е л ь я н о в В.И., К о р о т е е в Н.И., Я к о в л е в В.В. // Оптика и спектроскопия. 1987. Т. 62. В. 5. С. 1188-1190.
- [4] А б д у л л а е в А.Ю., Г о в о р к о в С.В., К а ш - к а р о в П.К., К о р о т е е в Н.И., П е т р о в Г.И., Ш у м а й И.Л. // ФТТ. 1987. Т. 29. В. 6. С. 1898-1901.
- [5] Е м е л ь я н о в А.В., Е г о р к и н В.В. // Поверхность. 1987. № 11. С. 44-50.
- [6] O u r t a z d A., T a y l o r D.W., R e n t - s c h l e r J.A., B e v k J. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 59. N 2. P. 213-216.
- [7] H e i n z T.F., L o u M.M., T h o m p s o n W.A. // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 54. N 1. P. 63-66.

Поступило в Редакцию
25 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 18 26 сентября 1989 г.
06.2

СВЕРХРЕШЕТКИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ (Ш) И ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМЕ ГЕРМАНИЙ-КРЕМНИЙ

В.А. Марков, О.П. Пчеляков, Л.В. Соколов,
В.А. Гайслер

В настоящее время методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) получены эпитаксиальные структуры с напряженными сверхрешетками (СР), состоящими из чередующихся слоев кремния и твердых растворов германий-кремний, обладающие уни-

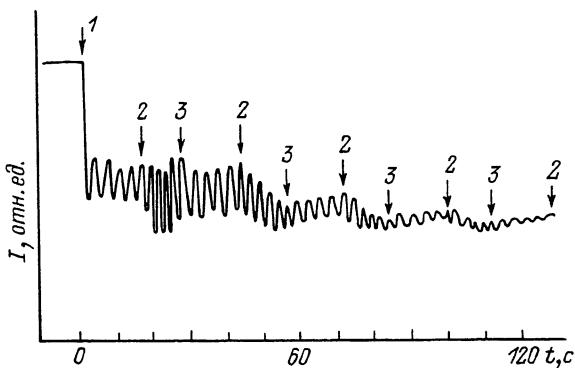


Рис. 1. Изменение интенсивного зеркального пучка электронов в процессе роста СР. Стрелками отмечено открывание заслонки кремниевого источника (1), открывание (П) и закрывание (Ш) заслонки источника пара германия.

кальными электрофизическими свойствами [1, 2]. На их основе созданы приборы [3-5], обладающие существенными преимуществами перед аналогичными традиционными приборами. В качестве подложек для этих СР до сих пор использовались пластины кремния с ориентацией (100). Решетки с ориентацией (Ш) открывают новые возможности для создания приборов с чередующимися слоями эпитаксиальных металлических ($NiSi_2$, $CoSi_2$) и диэлектрических (CaF_2 , BaF_2 и др.) слоев, что является необходимым звеном для перехода к 3-мерной интегральной схемотехнике. В данной работе впервые синтезированы совершенные напряженные сверхрешетки (Ge_xSi_{1-x})/Si с ориентацией (Ш). По спектрам комбинационного рассеяния света исследованы эффекты, обусловленные сверхпериодичностью.

Рост сверхрешеток проводился на подложках из кремния, легированного бором с ориентацией поверхности (111). При этом использовалась вакуумная ростовая система для МЛЭ с безмасляной откачкой [6]. Давление остаточных газов в камере определялось главным образом водородом и было менее 10^{-7} Па. Нагрев подложек размерами $30 \times 10 \times 0,33$ мм осуществлялся прямым пропусканием тока. Температура контролировалась оптическим пирометром. Молекулярный пучок германия генерировался источником типа ячейки Кнудсена с тиглем из пиролитического нитрида бора, а пучок кремния получали путем сублимации из кремниевой пластины, нагретой до $1200-1400$ °С. Такие источники позволяли выращивать эпитаксиальные пленки германия со скоростью $0,3$ нм/с и пленки кремния со скоростью $0,1$ нм/с. Скорость роста и толщина слоев контролировались с помощью эффекта осцилляций зеркального пучка быстрых электронов,

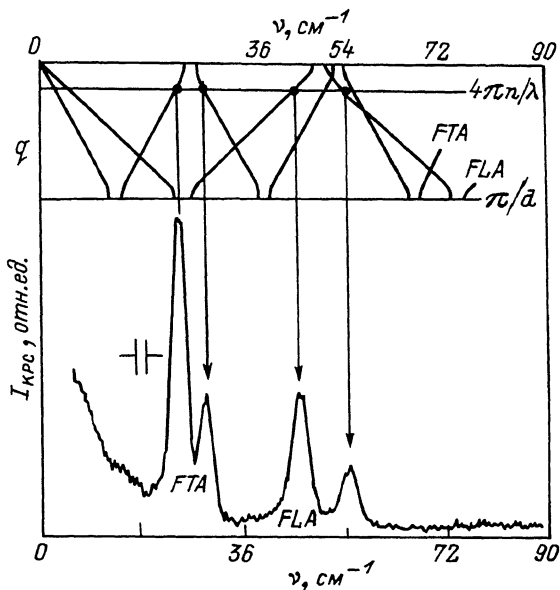


Рис. 2. Спектр комбинационного рассеяния света, полученный от СР $[(Ge_{0.5}Si_{0.5})/Si]_{35}$. В верхней части приведена дисперсионная зависимость свернутых ТА и LA фононов. $T=295$ К, $\lambda_i=514.5$ нм, $Z(xx)\bar{Z}$.

отраженных их поверхностью при соблюдении условий двумерно-слоевого роста. Этот же метод позволял оценивать концентрацию компонент в слоях твердого раствора по изменению периода осцилляций в процессе роста при переходе от одного состава слоев к другому (рис. 1). Подложки перед эпитаксией проходили цикл химической обработки по методике, близкой к описанной в [7]. Финишная очистка поверхности кремния проводилась в вакууме при температуре около 800 °С в слабом потоке кремния. Об окончании очистки свидетельствовало появление яркой картины дифракции от сверхструктуры (7×7) , после чего температура снижалась до 450 °С и начинался процесс роста буферного слоя кремния и твердого раствора с толщинами обоих слоев около 200 нм. Состав буферного слоя твердого раствора Ge_ySi_{1-y} выбирался равным среднему составу выращиваемой СР для взаимной компенсации знакопеременных механических напряжений в чередующихся слоях кремния и твердого раствора с составом Ge_xSi_{1-x} . Выращивание СР производилось при температуре подложки 500 °С. Описанная совокупность технологических режимов позволяла получать сверхрешеточные структуры $[(Ge_xSi_{1-x})_n Si_m]_N$ с ориентацией (Ш). Здесь n - число атомных слоев в пленке твердого раствора, m - число атомных

слоев в пленке кремния, N - количество повторяющихся пар таких пленок в СР.

На выращенных структурах исследовано комбинационное рассеяние света (КРС). На рис. 2 приведен спектр КРС, содержащий пики, обусловленные сверткой ветвей акустических фононов (СВАФ) в СР [8-10]. Поскольку СР имеет ориентацию (Ш) (в отличие от предыдущих исследований КРС [8-10], где ориентация СР (100)), в спектре содержатся СВАФ - пики не только продольных акустических фононов (на рисунке обозначены: FLA), но и поперечных акустических фононов (FTA). Наблюдаются лишь первые СВАФ дублеты, т. к. для СР с примерно равными толщинами соседствующих слоев интенсивности последующих СВАФ пиков малы [10]. Дисперсионная зависимость фононов в СР (верхняя часть рис. 2) рассчитывалась в соответствии с выражением работы [10], в которое подставлялись значения скоростей LA и TA фононов в направлении 111. Теоретическая дисперсионная зависимость позволяет с высокой точностью описать экспериментальное значение частот СВАФ пиков (стрелки на рисунке). Значение периода СР, определяемое по частотам FLA составляет $56,8 \text{ \AA}$, по частотам FTA - $55,8 \text{ \AA}$, погрешность не превышает 3 \AA . Малые полуширины СВАФ пиков свидетельствуют о резкости границ гетеропереходов в СР.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] P e o p l e R., B e a n J.C., L a n g P.V. et al. // Appl. Phys. Lett. 1984. V. 45. N 11. P. 1231-1241.
- [2] A b s t r e i t e r G., B r u g g e r H., W o l f T. et al. // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 54. P. 2441-2245.
- [3] P e r s a l l T.P., B e a n J.C. // IEEE Electr. Dev. Lett. 1986. EDL-7. P. 5-7.
- [4] D a e m b k e s H., H e r z o g H.J., Y o r k e H. et al. // IEEE Trans. Electr. Dev. 1986. ED-33. P. 5-8.
- [5] T e m k i n M., B e a n J.C., A n t r e a s y - a n A. Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 13. P. 1089-1092.
- [6] А р х и п е н к о А.В., Б л ю м к и н а Ю.А., Л а - м и н М.А. и др. // Поверхность. Физика, химия, механика, 1985. № 1. С. 93-96.
- [7] I s h i z a k a A., N a k a g a w a K., S h i r a - k i Y. Proc. MBE-CST-2, Токуо. 1983, p. 183-196.
- [8] Ш е б а н и н А.П., Г а й с л е р В.А., К у р о ч к и - н а Т.В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. В. 6. С. 349-351.
- [9] B r u g g e r H., A b s t r e i t e r G., Y o r - k e H. // Phys. Rev. B. 1986. V. 33. N 8. P. 5928-5930.

[10] L o c k w o o d D.J., D h o r m a-W a r d a n a M.W.C., B a r i b e a u J.M. et al. // Phys. Rev. B. 1987. V. 35. N 5. P. 2243-2251.

Институт физики полупроводников
СО АН СССР, Новосибирск

Поступило в Редакцию
23 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 18
11

26 сентября 1989 г.

УЧЕТ ВКЛАДА ЗАРЯЖЕННЫХ КЛАСТЕРОВ В ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В.В. Г л а з к о в, О.А. С и н к е в и ч

В настоящее время значительный интерес вызывают свойства плотных металлических паров при параметрах, близких к сверхкритическим. Как представляется, в этих условиях на свойства вещества могут оказать существенное влияние возникающие при данных плотностях в уже значительном количестве группы атомов с перекрывающимися электронными оболочками, далее именуемые кластерами (К). Влияние К на ионизационное равновесие в плазме рассматривалось, например, в [1]. Следует упомянуть цикл работ [2], в которых рассматривались переносные и оптические свойства плазмы с К. Представляется, однако, малореалистичным поиск или создание пространственно однородных систем с К металлов, т. к. все эффекты, связанные с К, имеет смысл учитывать лишь при плотностях, близких к 0.3 от твердотельной, а это соответствует пару с $T \sim 3 \cdot 10^3$ К и $P \sim 1$ МПа и более. Однако в лазерных факелах, катодных пятнах и, возможно, жидкометаллических эмиттерах ионов, могут быть легко получены области с такими параметрами, имеющие толщины $\sim 10^{-5}$ см, где могут возникать К из $\sim 10^2$ атомов. Так как подобная область, с одной стороны, граничит с твердой поверхностью, а с другой — проникает в приповерхностный объем, как бы размазывая границу раздела фаз, то представляет интерес оценить вызванное этим фактом изменение эмиссионных свойств поверхности (изменение других свойств в данной работе не рассматривается).

Довольно грубо попытаемся разбить изменение эмиссионных свойств, связанное с наличием К, на три группы: а) изменение термоэмиссии за счет увеличения площади эмиттирующей поверхности; б) изменение автоэлектронной эмиссии (полагаем, что оно происходит за счет усиления поля на концах вытянутых по направлению поля К); в) возникновение дополнительного эмиссионного механизма, который условно назовем переносный эмис-