

©1994 г.

ЭФФЕКТ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ПОЛУПРОВОДНИК-ПОЛУПРОВОДНИК

В.В.Углынец, А.К.Федотов

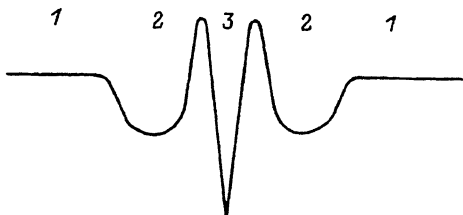
Белорусский государственный университет, 220080, Минск, Беларусь
(Получена 16 сентября 1992 г. Принята к печати 29 сентября 1993 г.)

Исследованы низкотемпературные вольт-амперные характеристики (ВАХ) в кристаллах профилированного кремния, измеренные при пропускании электрического тока вдоль плоскости одиночной электрически активной границы зерен. В области температур 4–25 К, когда проводимость по зернам практически выморожена, такие ВАХ характеризуются наличием особенности в виде скачка тока.

Широко распространенным, но весьма специфическим классом внутренних границ раздела типа полупроводник-полупроводник являются границы зерен, спонтанно зарождающиеся в процессе кристаллизации. Этот вид границ дает значительный, если не определяющий вклад в процессы переноса в поликристаллических полупроводниках при низких температурах [1].

В данной работе приводятся результаты изучения влияния температуры на вольт-амперные характеристики (ВАХ), измеренные в плоскости сильно неоднородных границ зерен (ГЗ). В качестве исследуемых границ использовались одиночные плоские электрически активные ГЗ общего типа в кристаллах кремния, выращенных способом Степанова [2–4]. Ранее в работах [3–8] нами было сделано предположение, что спонтанно зародившиеся на фронте кристаллизации границы общего типа в поликристаллическом кремнии и германии в структурном и электрическом смысле фактически представляют собой естественные двойные гетеропереходы типа СЛП-ВП-СЛП. Здесь СЛП — слой сильнолегированного полупроводника, а ВП — слой вырожденного полупроводника. При этом предполагается, что ВП область формируется вблизи «ядра» ГЗ, где происходит кристаллографическая стыковка (согласование) двух соседствующих зерен. Указанная область обусловлена наличием пограничных состояний высокой плотности (порядка 10^{13} см^{-2} [5–7]), вызывающих сильный изгиб энергетических зон вблизи ГЗ. Последний и приводит к формированию в плоскости границы хорошо проводящего вырожденного (практически металлического) слоя со слабой температурной зависимостью электропроводности

Рис. 1. Схема зонной энергетической структуры для многослойной модели активной ГЗ общего типа в полупроводниках с высокой плотностью пограничных состояний и сильной сегрегацией примесей вдоль границ. 1 — зерно, 2 — СЛП, 3 — ВП.



[3-7]. Прилегающие к ВП слою с обеих сторон СЛП области связаны, как предполагается, с приграничными участками, обогащенными примесями вследствие их сегрегации по границе [9-12]. Указанные области, как показано для случая безбарьерных ГЗ в германии *p*-типа проводимости [8,13], также обладают достаточно высокой продольной проводимостью. Последняя описывается законами прыжкового и (или) металлического переноса со слабыми температурными зависимостями проводимости. В результате при достаточно низких температурах, когда проводимость по объему соседствующих зерен вымораживается, исследуемая граница раздела в кремнии в электрическом смысле должна представлять хорошо проводящую (в плоскости границы) трехслойную структуру СЛП-ВП-СЛП, заключенную между диэлектрическими берегами-зернами (рис. 1).

Отметим основные структурные и электрические особенности такой системы. Во-первых, в ней присутствуют два типа параллельных слоев разной толщины, характеризующихся различными механизмами транспорта носителей заряда. В частности, более тонкий ВП слой (толщиной порядка нескольких межатомных расстояний [8,13]) обладает более высокой удельной проводимостью, чем более толстый СЛП-слой (как известно, ширина области сегрегации примесей по ГЗ может достигать микронных толщин [9-11]). Во-вторых, оба типа проводящих слоев характеризуются сильной неоднородностью и разупорядоченностью в плоскости слоев [3-7]. Упомянутые особенности структуры и электрических характеристик исследуемой многослойной системы позволяют предположить, что при низких температурах может происходить перераспределение тока как внутри слоев (из-за их перколяционной структуры [4-7]), так и между слоями в зависимости от приложенного напряжения, скорости его развертки, температуры и параметров внешней цепи.

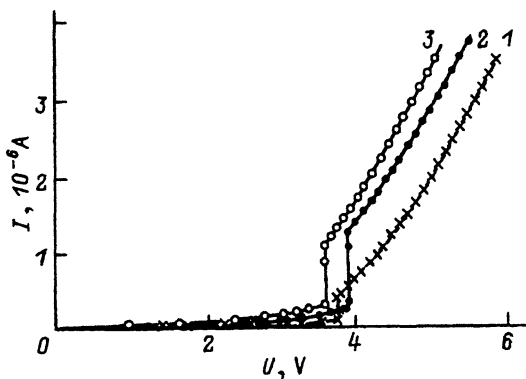


Рис. 2. Экспериментальные продольные ВАХ для активной ГЗ в кремнии при различных температурах, T, K : 1 — 4.2, 2 — 7.6, 3 — 22.

Исследуемые бикристаллические образцы помещались в специальную криогенную систему, позволяющую измерять и регулировать температуру образца в диапазоне 4–300 К. Продольные ВАХ записывались с помощью двухкоординатного самописца. Исследования показали, что в области температур 4–25 К, когда влияние переноса носителей заряда по объему соседствующих зерен незначительно, приложение электрического напряжения вдоль плоскости ГЗ приводит к переключению границы из высокоомного в низкоомное состояние. Этот эффект проявляется в виде скачка тока на ВАХ (рис. 2). Порог переключения обычно лежит в диапазоне 3.5–4 В и при скоростях разветки напряжения ниже 0.1 В/мин в основном определяется температурой границы. Если исходить из описанной выше гетеропереходной модели ГЗ общего типа, то указанную особенность низкотемпературных ВАХ можно объяснить одной из двух следующих причин. Первой причиной может быть разогрев электронов электрическим полем в сильно неоднородном ВП канале. На возможность неустойчивости ВАХ вследствие коллективного электронного перехода в неупорядоченных системах такого рода указывалось ранее в работе [14]. Второй возможной причиной эффекта переключения может быть джоулев разогрев ВП канала и выталкивание из него тока в соседствующие СЛП каналы.

Список литературы

- [1] Г. Матаре. Электроника дефектов в полупроводниках. М. (1974).
- [2] А.В. Артемьев, С.С. Горелик, Б.Н. Евтодий и др. Изв. АН СССР. Сер. физ., 52, 1951 (1988).
- [3] А.В. Артемьев, С.С. Горелик, Б.Н. Евтодий и др. Препринт ИПТМ и ОМ АН СССР. Черноголовка (1989).
- [4] А.К. Fedotov, B.N. Evtody, E.A. Katz, Ju.M. Plyashuk. Phys. St. Sol. (a), 119, 523 (1990).
- [5] A Fedotov, B. Evtody, E. Katz et al. J. Cryst. Growth, 104, 186 (1990).
- [6] А.К. Федотов, Б.Н. Евтодий, Е.А. Кац, Ю.М. Ильяшук. Тез. докл. VII Всес. конф. по физике полупроводников, ч. 2, 267. Киев (23–25 октября 1990).
- [7] А.К. Федотов, Ю.М. Ильяшук, Б.Н. Евтодий, Е.А. Кац. Электрон. техн. Материалы, № 7(261), 12(1991).
- [8] В.А. Шендеровский, Д.А. Диалло, А.К. Федотов и др. Препринт № 15. ИФ АН УССР, 3. Киев (1986).
- [9] H.F. Matare. J. Appl. Phys., 59, 97 (1986).
- [10] Поликристаллические полупроводники. Физические свойства и применение (под ред. Г. Харбеке). М. (1989).
- [11] L.L. Kazmerski, P.E. Russel., Coll., 43, suppl., 172 (1982).
- [12] S. Pizzini. Silicon processing for photovoltaics (ed. by C.P. Khaffak, K.G. Ravi), 167. Elsevier Science Publishers (1985).
- [13] Д.А. Джульде, В.П. Доброго, Ю.М. Ильяшук, Е.Н. Радевич, А.К. Федотов. ФТТ J.Phys. 30, 2391 (1988).
- [14] J. Krempaski, J. Bednarik. Acta. Phys. Slov., N 2, 139 (1986).

Редактор В.В. Чалдышев