

05.2;06.2;12

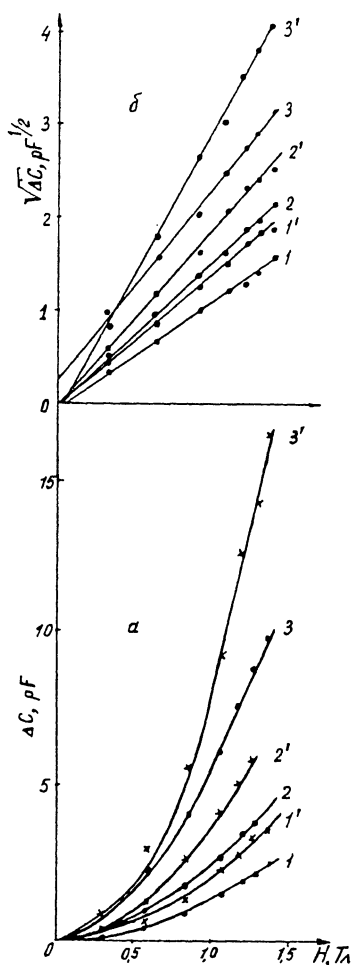
ЗАВИСИМОСТЬ ЕМКОСТИ НАНОСТРУКТУР ИЗ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ ОТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

© Н.С.Аверкиев, Л.М.Капитонова, А.А.Лебедев,
И.К.Полушина, Н.Н.Смирнова

Эффективность экранирования внешнего электрического поля подвижными зарядами зависит от размерности пространства, ограничивающего движение частиц. Вследствие этого от размерности пространства может зависеть характер частотной дисперсии электрической емкости (C) образцов. В работах [1,2] было показано, что если структура состоит из плоскостей с наноразмерной толщиной, то ее емкость $C \sim \ln \omega$, где ω — круговая частота измерительного сигнала. Если же структура имеет вид наноразмерных столбиков, то $C \sim \omega^{-1}$. Пористый кремний (ПК) можно рассматривать как среду, содержащую наноразмерные проводящие кристаллиты.

Измерения структур Me-ПК-монокристаллический Si-Me показали, что в диапазоне частот $3 \div 1000$ кГц емкость таких структур практически линейно зависит от $\ln \omega$, т. е. ПК состоит преимущественно из проводящих плоскостей [3], причем толщина плоскостей d порядка 1 мкм. В таких структурах возможна магнитополевая зависимость емкости при условии, что $v_T/\omega_c \leq d$, где v_T — тепловая скорость носителя тока, ω_c — циклотронная частота. Для частиц, движущихся с тепловой скоростью в магнитном поле порядка $2T$, будет иметь место соотношение частот $v_T/\omega_c \approx d$ и следовательно, емкость может зависеть от магнитного поля. Экспериментальному исследованию зависимости $C(H)$ и посвящена данная работа.

Образцы и методы измерений. Пористый кремний получали обычным способом путем электролитического травления n -Si в водных или спиртовых растворах HF с добавлением незначительного количества окислителей (HNO_3 , NaNO_2) [4,5]. Плотность тока была $10 \div 30$ мА/см², время травления $10 \div 30$ минут. Толщина полученного слоя ПК была $1 \div 10$ мкм. При возбуждении слоев ПК ультрафиолетовым излучением ртутной лампы они люминесцировали в оранжево-красной области спектра. На обратной стороне пластины кремния до травления создавали омический контакт путем диффузии фосфора с последующим осаждением и вжиганием слоя никеля. После изготовления ПК на него



Влияние магнитного поля на емкость структур на основе пористого кремния в трех образцах. Зависимости: a — $\Delta C = f(H)$; e — $\sqrt{\Delta C} = f(H)$. Номера кривых без штрихов соответствуют перпендикулярному положению вектора H по отношению к плоскости кремниевых пластин, со штрихами — параллельному положению.

термически напыляли слой Ag или Al. Полученные таким образом структуры имели симметричные вольт-амперные характеристики.

Измерения производились при комнатной температуре мостовыми методами с помощью мостов E7-12 и МПП-300. Внешнее напряжение $V = 0$, амплитуда переменного сигнала не превышала 50 мВ. Максимальное магнитное поле H , использованное в эксперименте, было $H \approx 1.3$ Т. Измерения

производились при направлении вектора H как перпендикулярно, так и параллельно плоскости кремниевой пластины.

Результаты измерений и их обсуждение. Измерения на частотах $0.1 \div 1$ мГц показали, что в магнитном поле емкость уменьшается, т. е. $\Delta C(H) = C(0) - C(H) \geq 0$. ΔC на указанных частотах слабо зависело от ω , и приведенные ниже результаты были получены на частоте 1 мГц. Чувствительность разных структур к магнитному полю была разной, и относительная чувствительность $\Delta C/C(0)$ не превышала 4% при $H \approx 1.3$ Т.

На рисунке, *a* приведены значения $\Delta C(H)$ для нескольких типичных образцов, причем $\Delta C(H)$ практически не зависело от направления магнитного поля. $\Delta C(H)$ не имела гистерезиса. На рисунке приведены усредненные результаты нескольких измерений. Различие между $\Delta C(H)$ в случаях, когда вектор магнитного поля перпендикулярен плоскости образца или параллелен ей, сравнительно невелико — в 1.5–2 раза (см. рисунок, *a*, кривые со штрихами и без них). Магнитосопротивление в полупроводниках, как известно [6], при параллельных векторах магнитного поля и тока значительно меньше магнитосопротивления при взаимно перпендикулярном направлении векторов. Сравнительно небольшая зависимость $\Delta C(H)$ в ПК от угла между вектором H и плоскостью пластины связана со сложной кораллоподобной структурой ПК [7]. Иными словами, в ПК могут реализоваться различные углы между векторами H и тока из-за того, что проводящие плоскости в ПК не всегда перпендикулярны плоскости пластины. Действительно, при повороте плоскости пластины относительно вектора H ΔC не всегда изменялось монотонно.

В слабых магнитных полях магнитосопротивление пропорционально h^2 . На рисунке, *b* показаны те же данные в координатах $\sqrt{\Delta C} = f(H)$. Как видно из рисунка, экспериментальные точки хорошо ложатся на прямую, т. е. $\Delta C \sim H^2$. Физический механизм такой зависимости от магнитного поля пока еще не установлен и необходимо дальнейшее развитие теории протекания тока в наноструктурах для его объяснения.

Работа выполнена в рамках программы “Физика твердотельных наноструктур”.

Список литературы

- [1] Shik A. // J. Phys.: Condensed Matt. 1992. V. 4. L335.
- [2] Аверкиев Н.С., Шик А.Я. // ФТП, 1996. Т. 30. В. 2. С. 199.
- [3] Аверкиев Н.С., Капитонова Л.М., Лебедев А.А., Ременюк А.Д., Смирнова Н.Н., Шик А.Я. Тезисы докл. Росс. конф. физ. полупр. 1996, Санкт-Петербург, т. 2. С. 122.

- [4] *Старухин А.Н., Лебедев А.А., Ражибин Б.С., Капитонова Л.М.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 16. С. 60-63.
- [5] *Astrova E.V., Belov S.V., Lebedev A.A., Remenyuk A.D., Rud'Yu.V., Vitman R.F., Kapitonova L.M.* // Phys. Stat. Sol. (a). 1994. V. 145. P. 407.
- [6] *Смит Р.* Полупроводники, М.: Мир, 1982, 560 с.
- [7] *Ben-Chgorin M., Moller F., Koch F., Schirmacher W., Eberhard M.* // Phys. Rev., B. 1995. V. 51. P. 2199.

Физико-технический
институт им. А.Ф.Иоффе РАН
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
20 июня 1996 г.