

УДК 535.377 (575.2) (04)

ПЛОТНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ НА ГРАНИЦЕ КРЕМНИЙ–БАСТРОН

К.Р. Курбанов – инженер

The method of admittance measuring states at a weak alternative signal is the most effective for determining surface states of metal-segneto-electric-semiconductor structures. Good results were obtained when using this method on the boundary silicon – bastron.

Измерениями емкости и проводимости металл-сегнетоэлектрик-полупроводник (МСП)-структур на различных частотах определена плотность поверхностных состояний $N_{ss} \sim 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$ на границе кремний-бастрон. Структуры с такой плотностью поверхностных состояний перспективны для оптически перепрограммируемых элементов памяти.

Кристаллы сегнетоэлектрика ниобата бария стронция (в дальнейшем бастрон) имеют общую формулу $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$. Как сегнетоэлектрик бастрон характеризуется малым пьезоэлектрическим откликом и большим пироэлектрическим, что делает его перспективным при изготовлении различных устройств микроэлектроники, в частности, детекторов инфракрасного излучения [1].

Пионерские работы по технологии изготовления пленок ниобата бария стронция выполнены в Институте автоматики и электрометрии СО РАН [2–4].

Наиболее эффективным методом определения поверхностных состояний металл-диэлектрик-полупроводник (МДП)-структур является метод измерения адмиттанса на слабом переменном сигнале. Существует несколько механизмов и моделей, определяющих отклик поверхностных состояний на переменный сигнал, однако все они утверждают, что проводимость на переменном сигнале в режиме обеднения и слабой инверсии поверх-

ности полупроводника тем больше, чем больше плотность поверхностных состояний. К такому выводу приводит модель Николиана и Герцбергена [5], основанная на рекомбинации Шокли-Рида носителей заряда на поверхностных состояниях, и модель Прайера [6], основанная на туннелировании носителей из полупроводника на близлежащие ловушки в диэлектрике.

Модель, объединяющая эти два механизма, предложена в работе [7], некоторые усложненные модели – в работе [8].

Рассмотрим полученные нами результаты в рамках модели [5], согласно которой проводимость G_p , обусловленная поверхностными состояниями, равна:

$$\frac{G_p}{\omega} = \frac{q \cdot N_{ss}}{2\omega\tau_m} \cdot \ln(1 + \omega^2\tau_m^2), \quad (1)$$

где $\tau_m = 1/C_n n_{so}$;

n_{so} – концентрация носителей в полупроводнике вблизи поверхности, а C_n – вероятность захвата электрона в $\text{см}^3/\text{с}$;

N_{ss} – плотность поверхностных состояний на единичный интервал энергии в $\text{см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$;

q – заряд электрона.

Проводимость G_p и емкость C_p поверхностных состояний связаны с измеряемыми величинами следующими формулами:

$$\frac{G_p}{\omega} = \frac{\omega C_{ox}^2 G_m (G_m^2 + \omega^2 C_m^2)}{\omega^2 C_{ox}^2 G_m^2 + [\omega^2 C_m (C_{ox} - C_m) - G_m^2]^2}, \quad (2)$$

$$C_p = \frac{C_{ox} (G_m^2 + \omega^2 C_m^2) [\omega^2 C_m (C_{ox} - C_m) - G_m^2]}{\omega^2 C_{ox}^2 G_m^2 + [\omega^2 C_m (C_{ox} - C_m) - G_m^2]^2}. \quad (3)$$

Здесь C_{ox} – геометрическая емкость диэлектрика;

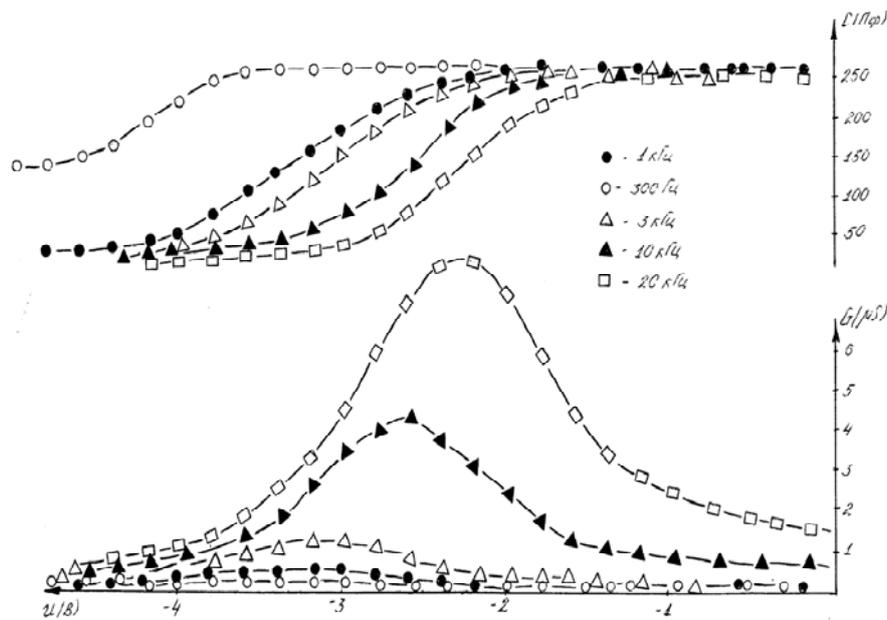
C_m – измеренная емкость;

G_m – измеренная проводимость. При получении формул (2) и (3) предполагалось параллельное включение емкостей и проводимостей.

Нами проведены измерения емкости и проводимости МСП-структур на разных частотах с помощью моста Е8-2 и использования внешнего генератора синусоидальных сигналов. Индикатором служил селективный милливольтметр В6-9. $C - V$ и $G - V$ кривые измерялись с интервалом 0,2 В. Для калибровки

установки были проведены измерения на полярных диэлектриках (МОП- и МНОП-структурах), характеристики которых хорошо известны. Результаты показали правильность калибровки и надежность наших измерений.

В исследованных нами МСП-структурах площадь верхнего электрода из хрома составляла 10^{-3} см². Сегнетоэлектриком служил $Sr_{0,5}Ba_{0,5}Nb_2O_6$, выращенный высокочастотным (ВЧ)-способом при давлении кислорода 10^{-1} мм рт. ст., амплитуде ВЧ-напряжения 1,5 кВ, частоте 10 МГц и постоянном потенциале подложки относительно ВЧ-плазмы 70–80 В. Температура подложки во время ВЧ-напыления составляла 700°C. Подложкой служила кремниевая шайба диаметром 70 мм и толщиной 300 мкм. Толщина пленки бастрона (0,7 мкм) определялась взвешиванием подложки на торсионных весах до и после напыления. Чувствительность весов – 0,05 мг. Процесс ВЧ-напыления длился 4 часа. После нанесения бастрона хромовые электроды напылялись через маску вакуумным испарением на установке ВУП-5. На тыльную сторону пластины наносился вакуумным испарением алюминий, который затем отжигался при температуре 400°C в течение 20 мин.



$C - V$ и $G - V$ – характеристики МСП-структуры.

На рисунке приведены $C-V$ и $G-V$ характеристики полученных МСП-структур при частотах 300 Гц, 1 кГц, 10 кГц и 20 кГц. Оказалось, что при всех частотах $G-V$ кривые имеют максимум, величина которого растет с ростом частоты, а $C-V$ кривые имеют вид высокочастотных вольтфарадных характеристик, и участок модуляции емкости смещается в сторону обедняющего потенциала по мере уменьшения частоты. Из максимума проводимости на частоте 10 кГц находим плотность поверхностных состояний: $N_{ss} \sim 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$. В полном соответствии с такой большой плотностью поверхностных состояний изменяются и $C-V$ кривые с изменением частоты. Такие большие плотности поверхностных состояний были зафиксированы при исследовании МСП-структур с пленками сегнетоэлектрика PbTiO_3 японскими авторами [9].

Полученные нами результаты свидетельствуют о возможности применения МСП-структур на основе кремний-бастрон для разработки репрограммируемых запоминающих устройств.

Известно, что характеристики приемников инфракрасного изображения на МСП-структурах, использующие эффект модуляции поверхностного потенциала полупроводника пироэлектрическим откликом сегнетоэлектрика, сильно зависят от концентрации поверхностных состояний на границе сегнето-электрик-полупроводник [10, 11].

Литература

1. *Glass A.M.* Investigation of electrical properties of $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$ with special reference to pyroelectric detection / *J. Appl. phys.* – 40. – № 12, 1969. – P. 4613–4699; *Antsigin V.D., Kostsov E.G., Malinovsky V.K., Sterelukhina L.N.* Electrooptic of thin ferroelectric films / *Ferroelectrics.* – 38. – № 1–4. – 1981. – P. 761–765.
2. *Antsigin V.D., Egorov V.M., Kostsov E.G.* Ferroelectric properties of thin NBS films // *Ferroelectrics.* – 63. – № 2. – 1985. – P. 235–242.
3. *Анцыгин В.Д., Коцов Э.Г., Стерелюхина Л.Н.* Импульсная электрооптическая модуляция света в тонких сегнетоэлектрических пленках // *Автометрия.* – № 5. – 1983. – С. 93–100.
4. *Niccolian E.H., Gathberger A.* The Si – SiO_2 interface-electrical properties as determined by metal insulator-silicon conductance technique // *The Bell Syst. Tech. J.* – XLVI. – № 6. – 1967. – P. 1055–1133.
5. *Preier H.* Contribution of surface states to MOS impedance // *Appl. phys. Lett.* – 10. – № 12. – 1967. – P. 361–363.
6. *Sands D., Bunson K.M., Thomas C.B.* The relative contribution of recombination and tunneling at interface state to a.c. conductance of metal-insulator-semiconductor diodes // *Sol. St. Electron.* – 30. – № 5. – 1987. – P. 543–548.
7. *Nachmanson R.S., Sevastianov S.B.* On the frequency dependence of the surface state admittance // *Phys. stat. sol.(a).* – 57. – № 1. – 1980. – P. 117–128.
8. *Matsui I., Okuyama M., Noda M., Hamakawa J.* A study of electronic states near the interface in ferroelectric semiconductor heterojunction prepared by rf sputtering of PbTiO_3 // *Appl. Phys.* – A28. – 1982. – P. 161–166.
9. *Matsui I., Okuyama M., Noda M., Hamakawa J.* A study of electronic states near the interface in ferroelectric semiconductor heterojunction prepared by rf sputtering of PbTiO_3 // *Appl. Phys.* – A28. – 1982. – P. 161–166.
10. *Барфут Дж., Тейлор Дж.* Полярные диэлектрики и их применения. – М.: Мир, 1981. – 526 с.
11. *Ковтонюк Н.Ф.* Электронные элементы на основе структур полупроводник-диэлектрик. – М.: Энергия, 1976. – 184 с.