

## Туннельный перенос заряда в системе Au/CaF<sub>2</sub>/Si(111)

М.И. Векслер<sup>1</sup>, Ю.Ю. Илларионов<sup>1,2</sup>, С.М. Сутурин<sup>1</sup>, В.В. Федоров<sup>1</sup>, Н.С. Соколов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Политехническая ул. 26, СПб, 194021, Россия

<sup>2</sup>TU Vienna, Institute for Microelectronics, 27-29 Gusshausstr., 1040 Vienna, Austria

тел: +43 1 58801-36035, эл. почта: ill-88@mail.ru

Фторид кальция является перспективным материалом для барьерных слоев в приборах кремниевой микроэлектроники (напр., резонансно-туннельных диодах), благодаря большим значениям ширины зоны  $E_g = 12.1$  eV, проницаемости  $\epsilon = 8.43$  и поля пробоя  $F_{br} > 10^7$  В/см, а также близости постоянных решетки Si и CaF<sub>2</sub> [1]. Но пока для получаемых слоев фторида отмечались сильные пространственные флуктуации толщины и других параметров. В данной работе методом молекулярно-лучевой эпитаксии выращены высокооднородные тонкие (3-7ML, 1ML = 0.315 нм) пленки CaF<sub>2</sub> на n- и p-Si и изучены электрические характеристики структур Au/CaF<sub>2</sub>/Si(111). Важным новым технологическим моментом была низкая (250 °C) температура роста.

На Рис. 1 представлены вольтамперные кривые (ВАХ). Для обоих типов легирования ( $N_{D/A} = 10^{15}$  см<sup>-3</sup>) четко отслеживается добавление каждого монослоя. Наблюдаются все особенности, ожидаемые для структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) и ранее изученные для МДП-систем с оксидами [2]. Так, имеет место асимметрия ВАХ — появляется плато тока на обратной полярности при нехватке неосновных носителей. Для n-Si плато видно на вставке. Там же показано влияние освещения: фототранзисторный эффект в режимах обеднения-инверсии; усиление достигает  $10^3$ . Вид вольтфарадных характеристик (p-Si, вставка) тоже соответствует теории МДП-структур.

Проведено сопоставление с результатами моделирования (детали модели см. в [2]) в предположении сохранения поперечной компоненты волнового вектора электрона  $k_{\perp}$  при туннельном прохождении. Для структур на p-Si учитывалось среднеквадратичное отклонение толщины диэлектрика  $\sigma_d$ , измеренное с помощью микроскопа атомных сил; в образцах на n-Si это отклонение составляло менее 0.1 нм и игнорировалось. Согласие измеренных и предсказанных (без подгоночных факторов!) кривых позволяет констатировать возможность роста туннельно-тонких слоев CaF<sub>2</sub> приборного качества на подложках Si (111).

### Литература

[1] E. Miranda, J. Molina, Y. Kim, H. Iwai, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 232104 (2005).

[2] М.И. Векслер, С.Э. Тягинов, Ю.Ю. Илларионов и др., *ФТП*, **47**, 675 (2013).

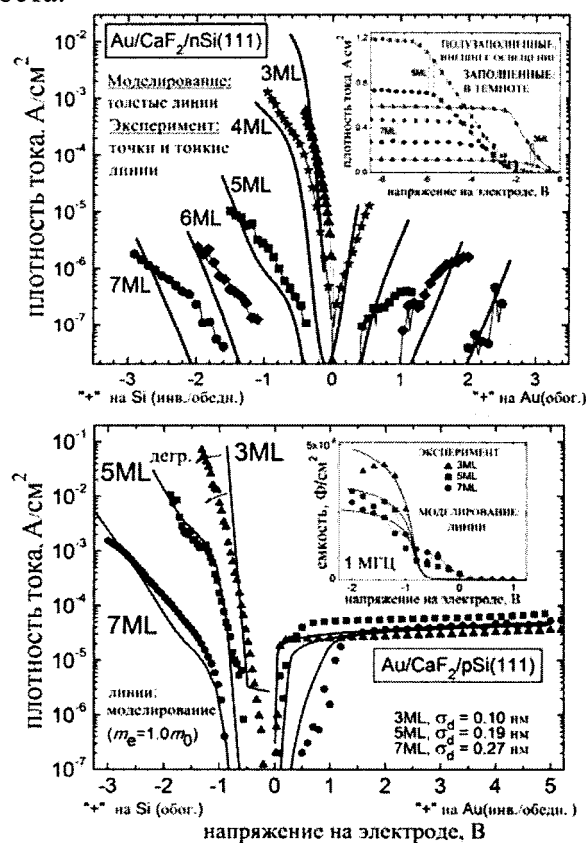


Рис.1. Характеристики МДП-структур с CaF<sub>2</sub>.