

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОНКИХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ АНТИМОНИДА ИНДИЯ

В. Н. Антонюк и Е. П. Мацас

Проведено определение сравнительной точности и области применения нескольких типов эллипсометрических уравнений для системы антимолибд индия — реальный окисел. Приближенные решения сравниваются с точными и с данными эксперимента.

Важной задачей является определение параметров реальных тонких окислов на поверхности полупроводников. Для тонких ($< 100 \text{ \AA}$) непоглощающих слоев (показатель поглощения $k_1=0$) имеются приближения [1-4], основанные на разложении в ряд основного эллипсометрического уравнения. Как отмечается в [5], наиболее точное приближение получил Саксена [4]

$$\operatorname{tg}(\Delta - \bar{\Delta}) = -C_{\Delta} d_1, \quad (1)$$

$$\psi - \bar{\psi} = \frac{1}{4} \sin 2\bar{\psi} C_{\Delta}^2 d_1^2, \quad (2)$$

где $\bar{\Delta}$, $\bar{\psi}$, Δ и ψ — эллипсометрические углы поверхности свободной от пленки, и поверхности с тонким слоем толщиной d ; C_{Δ} — коэффициент, зависящий от показателей преломления n_2 и поглощения k_2 подложки, показателя преломления пленки n_1 , длины волны λ и угла падения света φ_0 .

Саксена [4] провел сравнение приближенных уравнений (1) и (2) с точным решением стандартного эллипсометрического уравнения для системы Si—SiO₂ ($n_2=4.051$, $k_2=0.027$, $n_1=1.46$, $\lambda=5461 \text{ \AA}$, $\varphi_0=70^\circ$) и показал, что максимальная ошибка в определении d по уравнению (1) $\leq 4\%$ и по уравнению (2) $\sim 18\%$ для толщины $d=100 \text{ \AA}$.

Друде [1] были получены приближенные уравнения, из которых первое уравнение совпадает с (1), а второе имеет вид

$$\psi - \bar{\psi} = \frac{1}{2} \sin 2\bar{\psi} C_{\psi} d_1, \quad (3)$$

где C_{ψ} — коэффициент, зависящий от n_2 , k_2 , n_1 , λ и φ_0 . Отметим, что для уравнений (1) и (3) Арчер [2] уточнил значения коэффициентов C_{Δ} и C_{ψ} .

В работах [1-4] не анализируются границы применимости уравнений (1)–(3) для различных оптических констант подложки n_2 и k_2 , а также не показано, какую точность определения параметров тонких пленок обеспечивают эти приближения при разных соотношениях n_2 и k_2 . В работе [4] дано только качественное указание на то, что приближение Друде—Арчера обеспечивает более точное определение параметров тонких слоев в случае $n_2 < k_2$, тогда как при $n_2 > k_2$ более приемлемым является приближение Саксены.

В данной работе проведена оценка применимости уравнений (1)–(3) для системы антимолибд индия—реальный окисел. Проведено сравнение решений приближенных уравнений (1)–(3) с точным решением основного эллипсометрического уравнения и с экспериментальными данными Δ

и ψ для реальной поверхности InSb, для которой $n_2 \geq k_2$ в отличие от Si, где $n_2 \gg k_2$. Решение приближенных систем уравнений (1), (2) и (1), (3) и точного уравнения эллипсометрии сделано для оптических констант чистой поверхности InSb: $\bar{n} = n_2 - ik_2 = 4.20 - i1.80$, $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ и $\varphi_0 = 70^\circ$. Отметим, что определение оптических констант InSb потребовало проведения специальных исследований и анализа литературных данных. Кроме того, целью работы является эллипсометрическое определение параметров

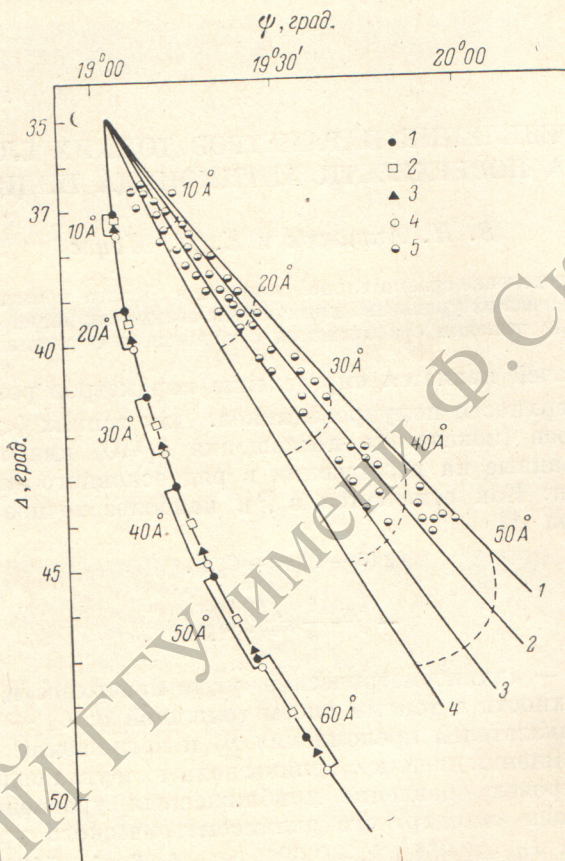


Рис. 1. Решения основного уравнения эллипсометрии и системы приближенных уравнений (1), (2) (кривая 1) и экспериментальные результаты измерения величин Δ и ψ для системы антимоид индия—реальный окисел.

1, 2, 3, 4 — $n_1 = 1.6, 1.8, 2.0$ и 2.2 соответственно, 5 — экспериментальные точки. Цифры около кривых — толщины пленки.

реальных окислов на поверхности InSb, которое до сих пор не проводилось, что обусловлено большой неоднозначностью оптических констант InSb.

Учитывая, что уравнения Саксены являются более точными [5], мы вначале провели сравнение решений приближенных уравнений (1), (2) и решения точного уравнения эллипсометрии. На рис. 1 представлены эти решения, а также даны экспериментальные результаты измерения Δ и ψ для различных обработок поверхности. Видно, что использование уравнений (1), (2) приводит к неоднозначному определению параметров окисла: показателя преломления n_1 и толщины d . Кроме того, использование уравнений (1), (2) приводит к значительным ошибкам в определении d , анализ которых проведен ниже.

Из рис. 1 следует, что точное решение эллипсометрического уравнения хорошо описывает экспериментальные результаты и позволяет определить параметры реального окисла на поверхности InSb. Минимальная толщина окисла ($\sim 5 \text{ \AA}$) получена после обработки электрополированной

поверхности в 1%-м растворе HF. Экспозиция образцов в естественной атмосфере в течение ~ 50 ч приводит к росту окисла до толщин $\sim 25-30 \text{ \AA}$. Наибольшие толщины окисла $\sim 50 \text{ \AA}$ получены после отмывок поверхности InSb в воде. Показатель преломления естественного окисла $n_1 \approx 1.8 \pm 0.1$.

Решение системы уравнений (1), (3) представлены на рис. 2, из которого видно, что в этом случае получено хорошее совпадение обоих решений. Этот результат является несколько неожиданным, так как ожидалась [5]

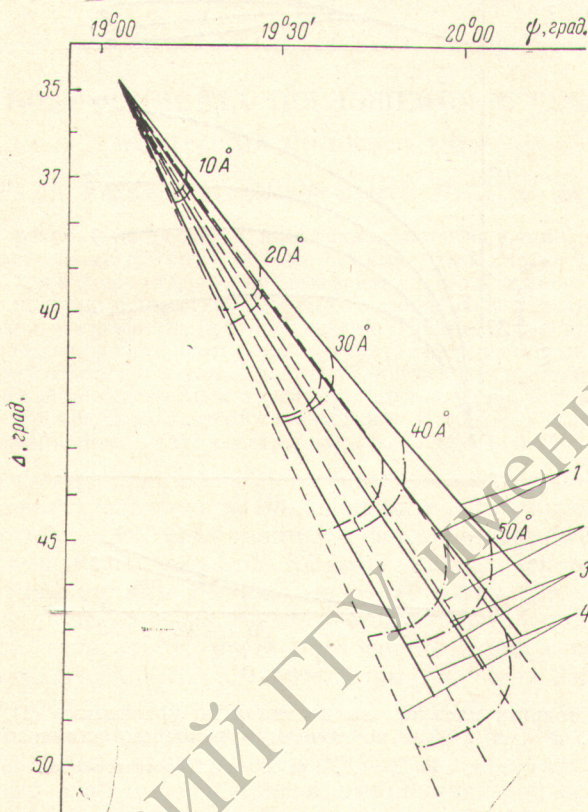


Рис. 2. Решения основного уравнения эллипсометрии (сплошные линии) и системы уравнений (1), (3) (пунктирные линии) для системы InSb—реальный окисел.

Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

большая точность для уравнений (1), (2), чем для уравнений (1), (3). В связи с этим мы вычислили ошибки определения толщины окисла для InSb по приближенным уравнениям (1)–(3) аналогичным образом, как сделал Саксена [4]. Вычислялась разность между толщиной пленки, полученной из решения точного и приближенных уравнений. Результаты расчетов представлены на рис. 3, из которых видно, что решения уравнений (1), (3) оказываются более точными, чем уравнения (2). Причем использование системы уравнений (1), (3) позволяет определить и показатель преломления, и толщину пленки. Как видно из рис. 3, а, ошибка определения толщины пленки по измерениям одной величины Δ монотонно увеличивается с d и слабо зависит от показателя преломления пленки. Значительно большие ошибки возникают при определении толщины по параметру ψ — уравнение (2). Так, при $d \sim 10-20 \text{ \AA}$ ошибка в 2–3 раза превосходит истинную толщину пленки, причем в области толщин $10-50 \text{ \AA}$ наблюдается резкая зависимость ошибки от n_1 (рис. 3, б). В то же время уравнение (3) дает значительно меньшую ошибку (рис. 3, в), что наряду с независимостью уравнений (1) и (3) дает хорошее совпадение

решений системы уравнений (1), (3) и точного уравнения эллипсометрии (рис. 2).

Таким образом, для определения оптических параметров тонких пленок на поверхности антимионида индия можно пользоваться, например, только уравнением (1). Для определения обоих параметров (n_1 и d) луч-

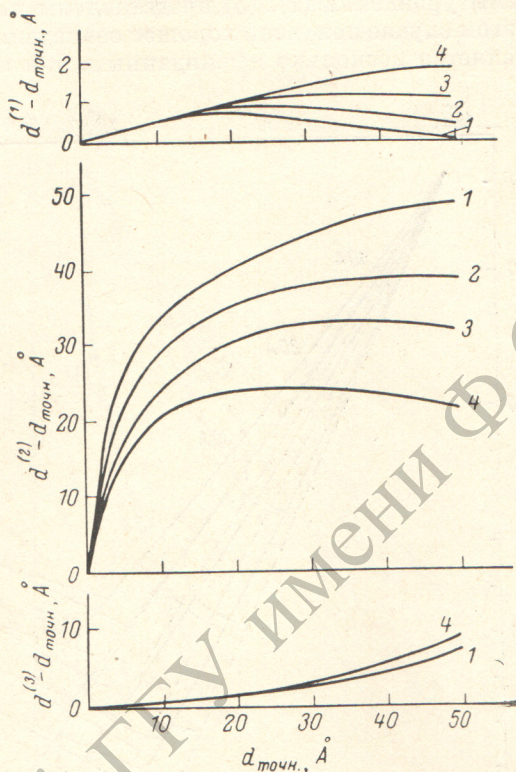


Рис. 3. Разность толщин пленки, вычисленной по уравнениям (1), (2) и (3) (соответственно $d^{(1)}$, $d^{(2)}$ и $d^{(3)}$) и по точному уравнению эллипсометрии ($d_{\text{точн.}}$).

1, 2, 3, 4 — $n_1=1.6, 1.8, 2.0$ и 2.2 соответственно.

шим является приближение Друде—Арчера. Различие результатов решения систем уравнений (1), (2) и (1), (3) связано с соотношением оптических констант подложки n_2 и k_2 . Приближение Друде—Арчера применимо не только в случае $n_2 < k_2$, как указано в работе [4], но и в случае $n_2 \geq k_2$, что имеет место, например, для InSb.

Авторы выражают благодарность Н. М. Растриненко за полезное обсуждение полученных результатов.

Литература

- [1] P. Drude. Ann. Physik, 36, 532, 865, 1889.
- [2] R. J. Archer, G. W. Gobeli. J. Phys. Chem. Sol., 26, 343, 1965.
- [3] D. K. Burge, H. E. Bennet. J. Opt. Soc. Am., 54, 1428, 1964.
- [4] A. N. Saxena. J. Opt. Soc. Am., 55, 1061, 1965.
- [5] А. В. Ржанов, К. К. Свиташев, А. И. Семенов, Л. В. Семенов, В. К. Соколов. Основы эллипсометрии, 424. «Наука», Новосибирск, 1978.

Поступило в Редакцию 5 сентября 1979 г.